Aus der Medizinischen Klinik der Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. G. A. Martini

Spiroergometrische und blutgasanalytische Untersuchungen zur Bestimmung der Dauerleistungsgrenze bei Gesunden und Kranken

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität zu Marburg

vorgelegt von

Burkhardt Schütze
aus Sebnitz / Sachsen

Marburg 1969

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

Aus der Medizinischen Klinik der Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. G. A. Martini

Spiroergometrische und blutgasanalytische Untersuchungen zur Bestimmung der Dauerleistungsgrenze bei Gesunden und Kranken

INAUGURAL - DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin der Hohen Medizinischen Fakultät
der Philipps - Universität zu Marburg

vorgelegt von

Burkhardt Schütze
aus Sebnitz / Sachsen

Marburg 1969

Kleinoffsetdruck: Görich & Weiershäuser, Marburg

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Angenommen von der Medizinischen Fakultät
der Universität Marburg am 13.2.1969
Gedruckt mit Genehmigung der Fakultät
Dekan: Prof. Dr. med. W. Straub
Referent: Prof. Dr. H. H. Marx
Correferent: Prof. Dr. med. G. Hildebrandt

Inhaltsverzeichnis

		Seite
A.	Einleitung	1
B.	Methodik	7
	1. Spirometer	
	2. Ergometer	
	3. pO_2, pCO_2, pH - Wert	
	4. Puls, Blutdruck	
	5. Meßgrößen und Abkürzungen	
C.	Untersuchungsgang	10
D.	Untersuchungsergebnisse	13
	1. Ruhespirographie	13
	2. Belastungsuntersuchungen	23
	1. Atemminutenvolumen	26
	2. Sauerstoffaufnahme	33
	3. Atemäquivalent	39
	4. Sauerstoffpartialdruck	47
	5. Kohlensäurepartialdruck	57
	6. pH - Wert	66
	7. aktuelles Bikarbonat	75
E.	Diskussion der Ergebnisse und Vergleich mit Ergebnissen in der Literatur.	81
F.	Zusammenfassung	106
G.	Literaturverzeichnis	110

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534924_0039

A.) Einleitung

Nachdem Speck im Jahre 1883 für seine arbeitsphysiologischen Untersuchungen zum ersten Male ein mechanisches Drehkurbelergometer einführte, sind in der Folgezeit zahlreiche spiroergometrische Methoden entwickelt worden, um durch reproduzierbare körperliche Arbeit ein objektives Maß für die körperliche Leistungsfähigkeit und die Funktion von Lungen, Herz und Kreislauf zu finden.

Die Ergospirometrie hat auf den verschiedenen Gebieten der Medizin zunehmende Bedeutung erlangt, seitdem eine deutliche Zunahme sowohl der Herz-Kreislauf-Krankheiten (Valentin u.Mit.) wie auch der unspezifischen Lungenkrankheiten zu verzeichnen ist. Die deutschen Krankenkassenverbände teilten mit, daß sich 70% aller Krankheitsfälle aus Herz- oder Lungenkrankheiten zusammensetzen. Die Zugänge infolge Invalidität durch Herz- und Lungenkrankheiten werden durch den Verband Deutscher Rentenversicherungsträger mit 57% angegeben. Deshalb sind ergospirometrische Methoden von Bedeutung in der Präventivdiagnostik, für gutachterliche Fragestellungen in der Sozial- und Versicherungsmedizin, in der präoperativen Untersuchung, überhaupt zur Funktionsdiagnostik von Herz, Lunge und Kreislauf; ferner in der Sportmedizin, neuerdings in der Pädiatrie und als Meßfaktor in der Rehabilitation.

Von spiroergometrischen Untersuchungsmethoden ist nach Marx zu verlangen, daß sie objektiv, angemessen, unschädlich und reproduzierbar sind, daneben muß ein annäherndes Stoffwechselgleichgewicht (steady state) gewährleistet sein. Marx hat 1965 in einer Arbeit die in Deutschland eingeführten Verfahren kritisch betrachtet. So scheint insbe-

sondere die Methode des spirographischen Sauerstoffdefizits aus dem Arbeitskreis um Knipping ungeeignet zu einer objektiven Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Herz, Lunge und Kreislauf, da dieses Verfahren häufig nicht reproduzierbar ist.

Problematisch sind auch die Untersuchungen, die im Bereich der sogenannten vita maxima stattfinden, da diese Verfahren wohl in der Sportmedizin und der experimentellen Physiologie anwendbar sind, nicht aber dort, wo die Leistungsgrenze kranker Menschen objektiviert werden soll. Ähnlich unzumutbar für den Patienten ist auch die Bestimmung des maximalen Sauerstoffpulses (Reindell u.Mit., König u.Mit.), da ihm hierbei ebenfalls "Maximalleistungen" abverlangt werden.

Darüberhinaus sind Untersuchungen in "maximalen" Arbeitsstufen schon deshalb schlecht verwertbar, weil sie nachweislich nicht im steady state stattfinden. Durch die Möglichkeit einer metabolischen Acidose unter körperlicher Arbeit kommt es zu Verschiebungen im Säure - Basen - Gleichgewicht und damit zu Änderungen des pH - Wertes. Daraus resultieren Änderungen in CO_2 - Abgabe und O_2 - Aufnahme in der Lunge.

Es wird bei ergometrischen Untersuchungen also ein Verfahren zu suchen sein, das 1.) in einem Belastungsbereich liegt, der dem Untersuchten als Dauerleistung zugemutet werden kann, 2.) ein annäherndes Stoffwechselgleichgewicht garantiert und 3.) noch objektive Rückschlüsse darauf gestattet, ob der Untersuchte seine Dauerleistungsgrenze erreicht hat, d.h. ob in dem gewählten Leistungsbereich sein kardio - pulmonales System dem Organismus noch ausreichend Sauerstoff

anliefern kann.

Folgende Untersuchungsmethoden werden in der Literatur als die wichtigsten Kriterien der Leistungsbegrenzung angegeben:

a. die Pulsfrequenz

Eine Pulsfrequenz von 120/min. gilt im allgemeinen als Grenze einer zumutbaren Belastung für Ungeübte.

b. die Sauerstoffaufnahme

Die Sauerstoffaufnahme wird in ansteigenden Wattstufen fortlaufend gemessen und mit Normwerttabellen verglichen. Sie erweist sich als gutes Kriterium der Leistungsgrenze, wenn bei einer bestimmten Wattstufe die Sauerstoffaufnahme gegenüber der vorhergegangenen niedrigeren Wattstufe nicht mehr gesteigert werden kann.

c. das Atemminutenvolumen

Dieses kann ebenso wie die Sauerstoffaufnahme mit Normwerttabellen verglichen werden. Als Leistungskriterium zeigt es an, ob die betreffende Versuchsperson auf einer bestimmten Wattstufe hyperventiliert und vermehrte Atemarbeit leistet. Darüberhinaus läßt auch der Atemtyp gewisse Rückschlüsse zu. So finden sich beim Emphysematiker hohe Atemfrequenzen bei niedrigem Einzelvolumen.

d. das Atemäquivalent

Als Quotient aus Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme zeigt es an, ob die Atmung ökonomisch ist, oder ob große Atemvolumina bewegt werden müssen, um die O_2 - Versorgung des Organismus sicherzustellen. Das Atemäquivalent soll den Wert von 3,0 nicht überschreiten.

e. der Respiratorische Quotient

Reindell und Kirchhoff haben den RQ fortlaufend unter Belastung verfolgt. Allerdings scheint diese Methode weniger etwas über die Leistungsfähigkeit auszusagen, als vielmehr über die Konstanz des Stoffwechselgleichgewichtes.

f. die Sauerstoffsättigung
Felder mißt fortlaufend unter ansteigender Fahrradergometerbelastung über eine Verweilkanüle in der Arteria brachialis mit der Küvettenmethode die Sauerstoffsättigung und definiert die Leistungsgrenze an dem Punkt, an dem es erstmalig zu einem Abfall der Sauerstoffsättigung kommt. Ulmer, Buhr und Drasche beobachten das Verhalten der Sauerstoffsättigung mit Hilfe der unblutigen Oxymetrie.
g. der Sauerstoffpartialdruck
Hertz hat an 200 Emphysemkranken das Verhalten des Sauerstoffpartialdrucks im Blut unter Belastung beobachtet und setzt die respiratorische Leistungsgrenze dort an, wo der pO_2 um mehr als 4 mm Hg unter den Ruhewert absinkt.

Die isolierte Betrachtung spiroergometrischer Meßgrößen erlaubt keine zuverlässige Beurteilung der Funktionstüchtigkeit des kardio - pulmonalen Systems, da sie nichts über die eigentliche Aufgabe der Lunge aussagen, nämlich das venöse Blut zu arterialisieren und damit der Peripherie den notwendigen Sauerstoff anzuliefern. Meßwerte wie Atemminutenvolumen und Atemäquivalent geben lediglich Einblick in die Pumpenfunktion der Lunge bzw. in die Arbeitsökonomie der Förderleistung. Auch die isolierte Betrachtung der Sauerstoffaufnahme läßt nur bedingt Rückschlüsse auf das Ausmaß einer Funktionseinschränkung zu. Allen drei genannten Meßgrößen ist gemeinsam, daß 1.) die in der Literatur angegebenen Normwerte beträchtlich schwanken, 2.) sich keine signifikanten Unterschiede zwischen Gesunden und Kranken nachweisen lassen, und sie 3.) keinen Hinweis geben, ob die geleistete Arbeit noch in einem echten Stoffwechselgleichgewicht (steady state) stattgefunden hat. Aus dem letzten Grund sind in der vergangenen Zeit auch Ausdrücke

wie "relatives steady state" (Reindell u. Mit.) oder "Ergostase" (Mellerowicz u. Mit.) geprägt, die aber keineswegs einem echten steady state entsprechen.

Spiroergometrische Untersuchungen können in drei Leistungsbereichen stattfinden: 1.) im Bereich der sogenannten automatisierten Leistungen (unter 30 Watt), 2.) in einem Bereich, in dem noch ein echtes Stoffwechselgleichgewicht gewahrt ist und 3.) im Bereich sogenannter Maximalleistungen. Wird der 2. Bereich - also der sinnvolle Testbereich im steady state - verlassen, dann ist die Dauerleistungsgrenze überschritten und die Belastungsuntersuchung wird für einen Patienten unzumutbar. (Marx) .

Es soll nun in dieser Arbeit untersucht werden, mit welchen Methoden man die Dauerleistungsgrenze objektiv und quantitativ erfassen kann. Gleichzeitig soll geprüft werden, ob schon in niedrigen, für Patienten erträglichen Belastungsstufen die individuelle Leistungsfähigkeit des kardio - pulmonalen Systems abschätzbar ist. Darüberhinaus ist zu zeigen, inwieweit die gebräuchlichen ergospirographischen Leistungskriterien Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Atemäquivalent zur Beurteilung der Lungenfunktion herangezogen werden können, wenn man ein Versuchsverfahren wählt, das den Patienten nicht an die Grenze der Erschöpfung führt.

Zu diesem Zweck wurden 25 gesunde Versuchspersonen, 50 Patienten mit respiratorischer Insuffizienz verschiedener Genese und 21 Patienten mit angeborenen und erworbenen Herzfehlern einer spiroergometrischen Untersuchung unter-

zogen, wobei neben der Registrierung der Atemwerte, des Blutdrucks und der Herzfrequenz besonders das Verhalten der aktuellen Reaktion des Blutes und des Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdruckes beobachtet wurde.

B) Methodik

1.) Spirometer

Für die spirographischen Untersuchungen wurde der Hochleistungsspirograph "Magnatest Typ 510" der Firma Dargatz mit geschlossenem Luftkreislaufsystem verwendet, der eine maximale Ventilation von über vierhundert Litern garantiert. Die Atemexkursionen der Versuchspersonen werden durch ein Schreibsystem auf Registrierpapier übertragen. Durch zwei automatisch gekühlte Natronkalk-Absorber werden auch große abgeatmete CO_2-Mengen (in hohen Belastungsstufen) sicher abgefangen. Ein weiteres automatisches Kühlsystem hält die Temperatur im Luftkreislauf konstant auf Zimmertemperatur, bzw. durch zwei regulierbare Kontaktthermometer wenige Grade darunter. Daneben verfügt der Apparat über eine Befeuchtungseinrichtung, die die einzuatmende Luft im Bereich einer relativen Feuchte von 95 - 100% hält. Beide Vorrichtungen bewirken angenehme Atemluft für die angeschlossene Versuchsperson.

Der Sauerstoff im Luftkreislaufsystem wird durch eine Stabilisierungseinrichtung konstant erhalten. Das Nachfüllen von Sauerstoff aus einer Nachfüllglocke geschieht durch einen von Hand zu bedienenden O_2-Regler. Die Sauerstoffstabilisierung hat ein eigenes Schreibsystem, so daß die Konstanz der Sauerstoffkonzentration in der Einatmungsluft dann gegeben ist, wenn Exspirationslinie und Sauerstoffverbrauchslinie auf dem Registrierpapier parallel verlaufen.

Bei den Untersuchungen wurden unsere Versuchspersonen stets

über eine Vollsichtmaske mit dicken Zu- und Ableitungsschläuchen an den Spirographen angeschlossen, denn bei Verwendung eines Mundstückes und enger Schläuche können sowohl bei den forcierten Atemleistungen als auch in hohen Belastungsstufen durch die erhöhte Geschwindigkeit der Atemluft erhebliche Atemwiderstände entstehen, die die aufgezeichneten Atemwerte verfälschen.

2.) Ergometer

Für die Belastungsuntersuchungen wurde ein wirbelstromgebremstes Fahrradergometer der Firma Dargatz benutzt, das zur Fußkurbelarbeit im Sitzen und Liegen verwendet werden kann. Unsere Untersuchungen fanden stets im Sitzen statt. In der Regel begann die Belastung mit 30 Watt und wurde nach einer ausreichenden Ruhepause jeweils um 30 Watt gesteigert.

3.) pH, pO_2 und pCO_2

Der pH - Wert wurde nach der von Astrup angegebenen Mikromethode gemessen. Es handelt sich hierbei um ein thermostatisiertes Kapillarglaselektrode - Kalomelelektrode - System, das die pH - Messung in Blutproben von etwa 50 Mikrolitern gestattet. Dabei läßt sich der tatsächliche pH - Wert mit einer Standardabweichung von 0,006 pH - Einheiten bestimmen. Zur Ablesung des pH - Wertes benutzten wir das pH - Meter PHM 22 mit erweiterter Skala (kleinste Skaleneinteilung 0,01 pH-Einheiten) der Firma Radiometer in Kopenhagen. Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdruck wurden mit der Mikroelektrode der Firma Eschweiler gemessen.

Nach Rhews und Ulmer sowie Vergleichsmessungen der Arbeits-

gruppe Marx entsprechen die Ergebnisse der Messung des O_2 - und CO_2 - Partialdruckes mit Mikroelektroden im Ohrläppchenkapillarblut mit großer Genauigkeit den Werten, die mit Makroelektroden im arteriellen Blut gemessen wurden.

4.) Puls und Blutdruck

Der Blutdruck wurde vor und nach Belastung unblutig mit Oberarmmanschette und Stethoskop nach Riva-Rocci gemessen, die Herzfrequenz durch Palpation des Radialispulses bestimmt. Aus untersuchungstechnischen Gründen konnten diese beiden Größen erst gegen Ende der ersten Minute nach Belastung gemessen werden. In dieser Zeit ist aber schon ein rapider Abfall von Puls und Blutdruck in Richtung Normalisierung zu verzeichnen (Mellerowicz), so daß sie zur Beurteilung praktisch wertlos werden. Sie konnten uns nur in Annäherung über die Kreislaufsituation des Probanden orientieren.

5.) Meßgrößen und Abkürzungen

Atemvolumen AV
Atemminutenvolumen AMV
Vitalkapazität VK
Atemgrenzwert AGW
Atemreserve AR
Atemäquivalent AÄ
Sauerstoffverbrauch VO_2
Atemstoßtest (Tiffeneau) AST
Atemzeitquotient ZQ
Sauerstoffpartialdruck pO_2
Kohlensäurepartialdruck pCO_2

aktuelles Bikarbonat HCO_3^-

Das aktuelle Bikarbonat wurde aus den getrennt gemessenen pH- und pCO_2 - Werten nach der Henderson - Hasselbalchschen Gleichung berechnet und in mVal/l angegeben. Sämtliche Atemvolumina wurden auf BTPS, die Sauerstoffaufnahme auf STPD umgerechnet.

Für die statistische Auswertung wurden folgende Symbole und Formeln benutzt:

Mittelwert M

Standardabweichung des Mittelwertes σ_M

Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert x

Zahl der Messungen n

Standardabweichung $\sigma = \pm\sqrt{\frac{\sum x^2}{n-1}}$ $\quad \sigma_M = \pm\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

Differenz der Mittelwerte $D = M - M'$

Standardabweichung dieser Differenz $\sigma_D = \pm\sqrt{\sigma_M^2 + \sigma_{M'}^2}$

Abweichung $t = \frac{D}{\sigma_D}$

Zahl der Freiheitsgrade $m = n + n' - 2$

p (probabilitas) gibt an, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, daß der gefundene Unterschied der Mittelwerte auf Zufall beruht.

Für biologische Messungen gelten folgende Verhältnisse:

$p < 0{,}05$ wahrscheinliche Signifikanz

$p < 0{,}01$ Signifikanz

$p < 0{,}001$ starke Signifikanz

C.) Untersuchungsgang

Unsere Untersuchungen wurden an vier Kollektiven von je 25 (bzw. 21 bei Vitien) Versuchspersonen vorgenommen. In die Auswertung wurden die Personen nicht aufgenommen,

die infolge mangelnder Bereitschaft zur Mitarbeit den Versuch vorzeitig abbrachen. Insbesondere betraf dies Gutachtenpatienten, ambulante Fälle oder aber auch Patienten, die von vornherein der ärztlichen Untersuchung ablehnend gegenüberstanden. In diesen Fällen wurden die Kollektive dann durch zusätzliche Untersuchungen aufgefüllt.

Im einzelnen wurden folgende Gruppen untersucht:

1.) 25 untrainierte gesunde Versuchspersonen aller Altersklassen (19 - 70 Jahre) im Mittel 27,9 J.
2.) 25 Patienten mit Erkrankungen der Atmungsorgane, in der Hauptsache Emphysematiker mit oder ohne Cor pulmonale, daneben aber auch einige Fälle von chronischer Bronchitis, Asthma bronchiale und Bronchiektasen (28 - 66 Jahre) im Mittel 50,6 J.
3.) 25 Patienten mit Boeck-Besnier-Schaumann'scher Krankheit mit mehr oder weniger stark ausgeprägter Lungenfibrose (26 - 62 Jahre) im Mittel 44,8 J.
4.) 21 Patienten mit erworbenen oder angeborenen kompensierten Herzfehlern (18 - 65 Jahre) im Mittel 37,5 J.

Bei allen Versuchspersonen wurde auf Grundumsatzbedingungen verzichtet, allerdings wurde Wert darauf gelegt, daß in der Regel die letzte Mahlzeit mehr als zwei Stunden vor der Untersuchung eingenommen worden war.

Bei allen Probanden wurde zunächst ein Ruhespirogramm angefertigt, wobei Ruheatemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme, Atemzeitquotient, Vitalkapazität, Exspiratorische Reserve, Inspiratorische Reserve, Atemstoßtest, Atemgrenzwert und Atemreserven registriert wurden. Die Bestimmungen von

Atemminutenvolumen, Atemzeitquotient und Sauerstoffaufnahme fanden im Sitzen, alle übrigen Atemleistungen im Stehen statt. Nach einer zehnminütigen Erholungspause auf einer Untersuchungsliege wurden im Liegen Radialispuls und unblutig der Blutdruck gemessen. Aus dem hyperämisierten Ohrläppchen (Finalgon-Salbe) wurde mit einer sterilen Lanzette Kapillarblut gewonnen, in heparinisierten Glaskapillaren aufgefangen und daraus mit den beschriebenen Mikroverfahren pH, pO_2 und pCO_2 gemessen. Unmittelbar danach wurden die Versuchspersonen auf dem Fahrradergometer sitzend in ansteigenden Wattstufen bei 40 U/min. von 30 Watt an aufwärts belastet. Die Versuchspersonen waren über eine Atemmaske an den Spirographen angeschlossen, auf jeder Stufe wurde 6 Minuten lang gearbeitet. Am Ende der Belastungsstufe wurde innerhalb der ersten Minute nach Arbeitsabbruch im Liegen gemessen: Puls, RR, pH, pO_2 und pCO_2.

Zwischen den einzelnen Wattstufen, die bei 30 Watt beginnend jeweils um 30 Watt gesteigert wurden, war auf angemessene Erholungspausen Wert zu legen. Während wir uns bei jungen gesunden Versuchspersonen in der Regel mit der Rückkehr von Puls, RR, Atemfrequenz und den Blutgasen zur Norm (Ruhewerte) begnügten, war es zweckmäßig, bei Patienten längere Erholungsphasen einzuschieben. Wofern noch in niedrigen Wattstufen gearbeitet wurde (30 - 60 Watt), waren Pausen bis zu einer Stunde ausreichend, ansonsten wurde die Untersuchung am folgenden Tage fortgesetzt.

Bei den gesunden Versuchspersonen und den pulmonalen Patienten wurden die Wattstufen im allgemeinen soweit gesteigert, bis der Proband die vorgeschriebene Umdrehungszahl nicht mehr einhalten konnte oder den Versuch selbst abbrach (Angst,

Dyspnoe, Erschöpfung), bei den Patienten mit Herzfehlern wurde mit Rücksicht auf mögliche Zwischenfälle (akutes Lungenödem bei der Mitralstenose etwa) mit vier Ausnahmen die Untersuchung nach 60 Watt von uns abgebrochen.

Neben den apparativen Messungen wurden die Versuchspersonen noch eingehend über die Art des Erschöpfungszustandes nach Versuchsabbruch gefragt: etwa nach Muskelermüdung, Atemnot, Herzstichen, Beklemmung, Angst.

D.) Untersuchungsergebnisse

1. Ruhespirographie

Vor jeder Belastungsuntersuchung wurde bei allen Versuchspersonen eine ruhespirographische Untersuchung durchgeführt, bei der Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme, Atemzeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert gemessen wurden, um einen ungefähren Anhalt für das Ausmaß der Ventilationseinschränkung besonders der kranken Probanden zu haben, denn daraus ergab sich, bei welcher Wattstufe der Arbeitsversuch beginnen sollte. Es ist zum Beispiel sinnlos, einen Patienten mit einer Vitalkapazität über 3000 ml, normalem Atemstoß und ausreichendem Atemgrenzwert (über 70 l/min) 30 Watt durcharbeiten zu lassen, da diese Wattstufe für Normalpersonen noch im Bereich der "automatisierten Leistungen" liegt.

Die gefundenen Werte der Ruhespirographie sollen hier nicht in allen Einzelheiten besprochen werden, da die einzelnen Atemgrößen bei Gesunden und ihre Veränderungen bei den obstruktiven und restriktiven Lungenerkrankungen hinreichend

bekannt sind (Bartels, Bücherl et al., Felder, Fruhmann, Marx u. viele andere). Die Meßwerte für die einzelnen Versuchspersonen sind in den Tabellen nachzulesen.
(Siehe Tabellen 1 - 4 !)

Tabelle 1

Nr.	Name	Alter	ZQ	VK (ml)	AST (%VK)	AGW (l/min)
1.	Pl.K.	22	1,5	5200	74,0	151,2
2.	Pl.H.	43	1,2	3600	69,4	69,0
3.	Mi.L.	24	1,5	4400	81,8	70,2
4.	Fr.K.	21	1,6	4400	75,0	163,8
5.	Ko.P.	20	1,2	4300	83,7	120,0
6.	Li.J.	23	1,7	5100	63,0	122,4
7.	Gü.E.	21	1,8	3200	79,9	74,1
8.	Al.H.	23	1,5	4200	52,3	85,9
9.	Sch.B.	23	1,3	4900	84,0	148,8
10.	Sch.K.	46	1,6	4100	80,5	105,0
11.	Ge.F.	22	1,6	4500	82,2	132,0
12.	Br.W.	19	1,6	4800	43,6	90,0
13.	Ga.K.	24	1,7	5400	74,0	144,0
14.	Fi.H.	21	1,8	4300	79,0	125,4
15.	Ga.H.	20	1,1	4200	66,7	148,2
16.	Kl.D.	23	1,7	5200	67,3	156,0
17.	Ra.H.	21	1,5	5100	82,3	160,8
18.	Se.P.	26	1,3	4200	30,8	150,0
19.	Ku.H.	24	1,6	5400	75,9	104,4
20.	Sch.M.	70	1,4	3100	61,7	61,2
21.	Sch.K.	23	1,2	5950	70,0	172,0
22.	Kl.H.	55	1,8	3300	80,3	96,0
23.	Sch.J.	38	1,3	3900	66,5	110,4
24.	St.F.	24	1,2	4150	84,0	113,0
25.	He.M.	22,	1,5	4400	59,0	92,4

Tabelle 1 : Zeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert bei 25 gesunden Versuchspersonen

Tabelle 2

Nr.	Name	Alter	ZQ	VK (ml)	AS1 (%VK)	AGW (l/min)
26.	Er.E.	28	1,3	1850	73,0	59,5
27.	Ko.R.	66	1,7	2650	70,0	2[illegible]
28.	Kn.H.	49	1,4	3800	36,3	45,0
29.	Re.J.	59	1,4	2700	42,6	30,3
30.	Sp.G.	54	1,8	3100	41,9	52,[illegible]
31.	Kä.K.	65	1,5	2300	30,2	25,2
32.	Ni.A.	45	1,5	1450	55,0	13,2
33.	Pe.W.	32	2,0	2100	52,5	42,0
34.	Ko.A.	52	1,3	3100	37,1	51,3
35.	Wö.H.	46	1,1	4000	50,0	60,0
36.	Fe.V.	40	1,9	4200	50,0	56,5
37.	Al.K.	46	2,2	1100	27,2	10,0
38.	Fi.H.	45	1,3	2050	59,0	45,4
39.	Kr.H.	50	1,9	3550	53,5	36,0
40.	Be.H.	46	1,6	3050	42,0	40,6
41.	Ko.W.	60	1,6	2650	47,0	37,5
42.	Vo.A.	61	1,3	2930	49,0	46,3
43.	Fu.B.	54	1,8	3000	66,0	39,0
44.	Ro.J.	64	---	3280	44,0	33,7
45.	Pe.E.	56	1,5	2d00	52,	45,0
4[illegible]	Je.J.	43	1,5	1700	4[illegible],4	31,2
47.	Ge.P.	52	1,4	2650	55,5	52,2
4[illegible]	Ka.[illegible]	45	1,5	1700	54,0	37,4
49.	Al.H.	52	3,0	2250	40,7	4[illegible],2
50.	a.H.	54	1,9	2450	16,3	21,3

Tabelle 2 : Zeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoßvolumen bei 2 Atemgeschwindigkeiten

Tabelle 3

Nr.	Name	Alter	ZQ	VK (ml)	ASR (%VK)	ACW (l/min)
51.	Ba.L.	57	1,6	2220	60,0	51,4
52.	Bu.E.	62	1,9	1900	47,3	36,0
53.	Wo.M.	34	1,3	2760	45,0	43,4
54.	Sch.H.	53	1,1	1600	74,5	42,8
55.	Ke.E.	43	1,2	2400	75,0	48,0
56.	Ha.A.	33	1,2	2900	62,0	93,6
57.	Di.K.	30	1,1	1900	63,0	72,0
58	Kö.E.	42	1,2	3100	61,0	67,2
59.	St.O.	45	1,3	2900	67,0	86,4
60.	As.H.	42	1,1	1600	50,0	32,4
61.	Be.E.	54	1,4	1900	68,3	64,8
62.	Co.H.	51	1,3	1900	89,5	59,5
63.	Li.W.	28	1,3	4300	79,0	84,0
64.	Pr.H.	34	1,7	3300	27,2	28,8
65.	Ri.G.	61	1,2	2400	83,0	45,0
66.	Be.A.	51	2,2	2500	73,0	42,0
67.	It.E.	56	1,3	2400	71,0	73,5
68.	Ho.A.	26	2,1	3150	79,0	81,0
69.	Ro.E.	61	1,2	1700	85,0	46,8
70.	Di.I.	31	2,0	3100	64,2	78,0
71.	He.W.	29	1,4	3200	84,0	84,0
72.	Sp.G.	44	1,3	2400	79,0	49,2
73.	Dü.H.	42	1,3	2100	64,1	57,6
74.	Kl.K.	55	1,0	2950	39,0	34,6
75.	Be.W.	55	1,4	3450	75,0	96,0

Tabelle 3 : Zeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert bei 25 Patienten mit Lungenfibrose

Tabelle 4

Nr.	Name	Alter	ZQ	VK (ml)	AST (%VK)	AGW (l/min)
76.	Wi.K.	59	1,5	2300	71,0	64,8
77.	Be.P.	21	1,2	3900	79,0	144,0
78.	Ro.K.	39	1,7	4300	51,0	102,0
79.	Fr.E.	39	1,5	3750	80,0	100,8
80.	Di.L.	44	1,4	3500	68,0	43,2
81.	Sp.K.	40	1,2	2150	91,0	30,0
82.	Ho.A.	45	1,6	3900	79,0	50,4
83.	Ko.R.	39	1,3	2600	61,0	57,6
84.	Gu.I.	43	1,3	2700	70,0	54,0
85.	Ma.D.	26	1,4	3600	53,0	58,8
86.	Ka.K.	22	1,7	3000	46,5	48,0
87.	We.R.	65	1,7	1850	76,0	31,4
88.	He.A.	29	1,2	3400	75,0	82,0
89.	Sch.A.	22	1,5	2500	88,0	55,8
90.	Me.H.	57	1,2	3700	62,0	58,8
91.	Wü.A.	34	1,0	4000	60,0	79,2
92.	Aß.J.	18	1,3	4300	38,0	116,0
93.	Ho.A.	44	1,2	3800	82,9	55,5
94.	Br.A.	27	1,2	3300	100,0	128,2
95.	Re.E.	34	1,5	4700	64,0	72,0
96.	Mo.L.	40	1,6	3400	70,6	72,6

Tabelle 4 : Zeitquotient, Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert bei 21 Patienten mit Herzfehlern

Der Zeitquotient, also das Verhältnis von Inspirationsdauer zu Exspirationsdauer, soll in der Regel zwischen 1,1 und 1,5 liegen. Bei Emphysematikern findet sich häufig ein verlängertes Exspirium. Wir fanden bei unseren Untersuchungen aber sowohl bei den gesunden Probanden als auch bei den Patienten zu gleichen Teilen Werte unter 1,5 und über 1,5.

Die Vitalkapazität lag bei 20 der 25 untersuchten Emphysematiker unterhalb des Sollwertes, analoge Verhältnisse fanden sich bei den Lungenfibrosen. Bei den Vitien zeigten 12 VP eine Einschränkung der Vitalkapazität.

Beim Atemstoßtest sollen mindestens 70 % des Volumens der Vitalkapazität erreicht werden. Es war nun eine Verminderung des Atemstoßes bei den Emphysematikern, Fibrosen und teilweise auch den Vitien zu erwarten. Es fanden sich aber auch bei den gesunden VP zahlreiche Fälle, deren AST unterhalb des Normbereichs lag. Andererseits fanden sich bei den Fibrosen und den Vitien zu etwa gleichen Teilen Versuchspersonen im und unterhalb des Normbereichs. Bei den Emphysematikern lagen mit drei Ausnahmen alle VP außerhalb der Norm.

Bei der Bestimmung des Atemgrenzwertes, dessen Sollwerte in der Literatur erheblich schwanken (Bartels, Bücherl et al.), fanden sich erhebliche Einschränkungen bei den Emphysematikern, weniger ausgeprägt waren diese Veränderungen bei den Fibrosen und Vitien.

Die einzelnen Werte der Vitalkapazität, des Atemstoßes und des Atemgrenzwertes sind in den Abbildungen 1 - 4 graphisch dargestellt.

Mehr als die Veränderungen im Ruhespirogramm interessiert im

Rahmen dieser Arbeit die Frage, ob sich eine Beziehung der spirographischen Werte zu der erreichten Arbeitsleistung ableiten läßt. Zu diesem Zweck wurden die Vitalkapazität und der Atemstoß der jeweils erreichten Leistung gegenübergestellt. Als Maß der Leistung wurde die maximale Sauerstoffaufnahme zugrunde gelegt. Das Ergebnis ist in den Abbildungen 1 und 2 graphisch dargestellt. Es zeigt sich, daß zwischen Vitalkapazität auf der einen und der maximalen Arbeitsleistung auf der anderen Seite bei Gesunden und vor allem auch Herzkranken eine annähernde Beziehung besteht, während bei den Patienten mit Störung der Lungenfunktion sichere Beziehungen nicht nachweisbar sind. Dabei finden sich Patienten, die einen ausreichenden Atemstoß und eine annähernd normale Vitalkapazität haben und dennoch nur eine geringere Sauerstoffaufnahme aufweisen als Patienten mit erheblich eingeschränkten spirographischen Werten. Das Ergebnis der AST zeigte keinerlei Beziehung zur Sauerstoffaufnahme.

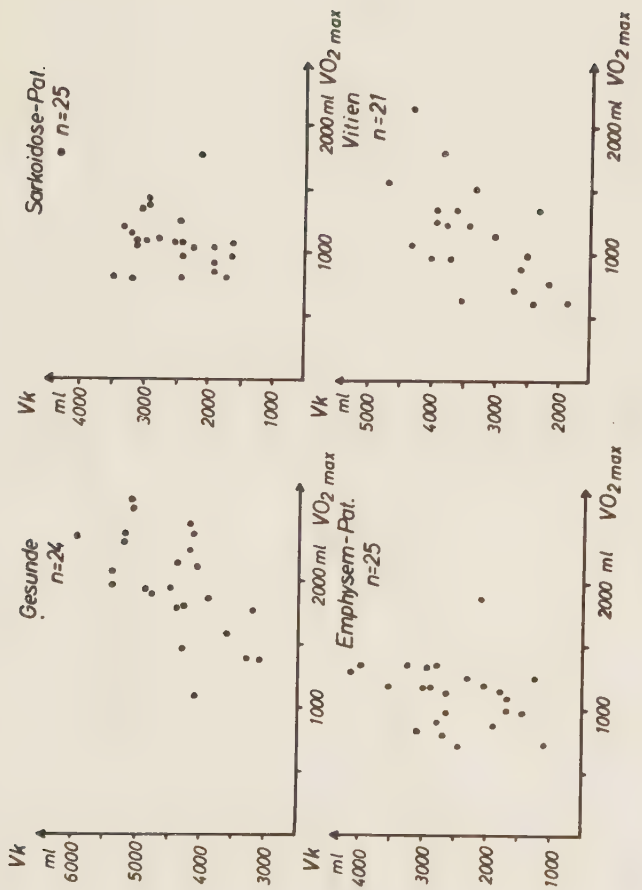


Abbildung 1 : Maximale Sauerstoffaufnahme in Beziehung zur Vitalkapazität

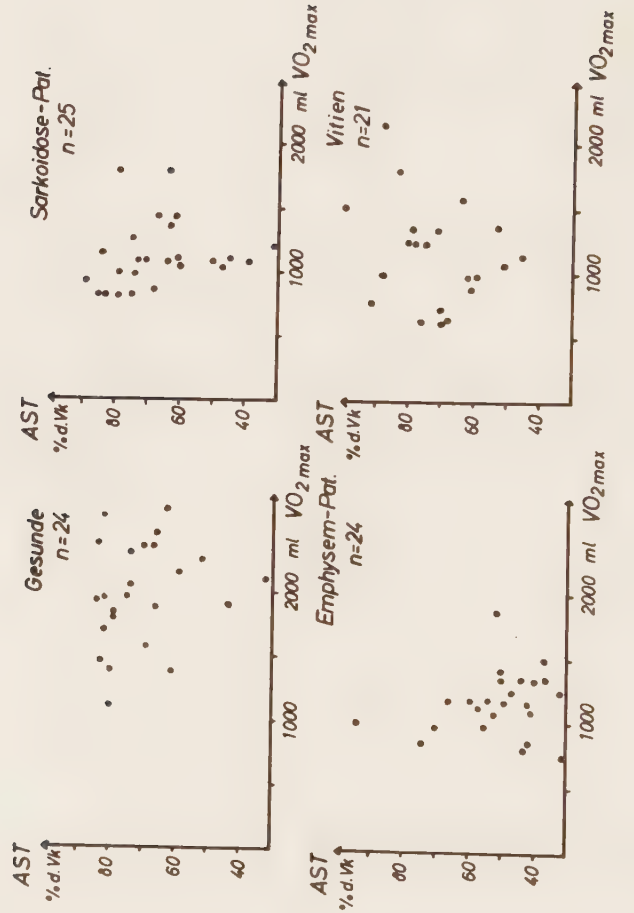


Abbildung 2 : Maximale Sauerstoffaufnahme in Beziehung zum Atemstoß

Die Atemgrenzwerte wurden den maximal erreichten Arbeitsatemminutenvolumina der zugehörigen Versuchspersonen gegenübergestellt. (Siehe Abbildung 3 und 4). Wenn man davon ausgeht, daß der Proband bei der Ausführung des Atemgrenzwertes gut mitgearbeitet hat, erkennt man, daß die Emphysematiker fast alle mit ihrem maximalen Arbeitsatemminutenvolumen den Wert des Atemgrenzwertes erreichen, teilweise sogar überschreiten. Hierin ist eine echte Leistungsbegrenzung zu sehen, da die Patienten in diesen Fällen tatsächlich keine größeren Volumina mehr bewegen können. Dieser Umstand mag auch erklären, warum so viele der Emphysematiker den Belastungsversuch schon auf niedrigen Wattstufen abbrechen mußten, obwohl keine der unten erwähnten leistungsbegrenzenden Kriterien erkennbar waren. Weniger häufig fanden wir solche Fälle unter den Gesunden, Fibrosen und Vitien.

2. Belastungsuntersuchungen.

Hier wurden im einzelnen gemessen bzw. errechnet :

1. Atemminutenvolumen
2. Sauerstoffaufnahme
3. Atemäquivalent
4. pH - Wert
5. Sauerstoffpartialdruck
6. Kohlensäurepartialdruck
7. aktuelles Bikarbonat.

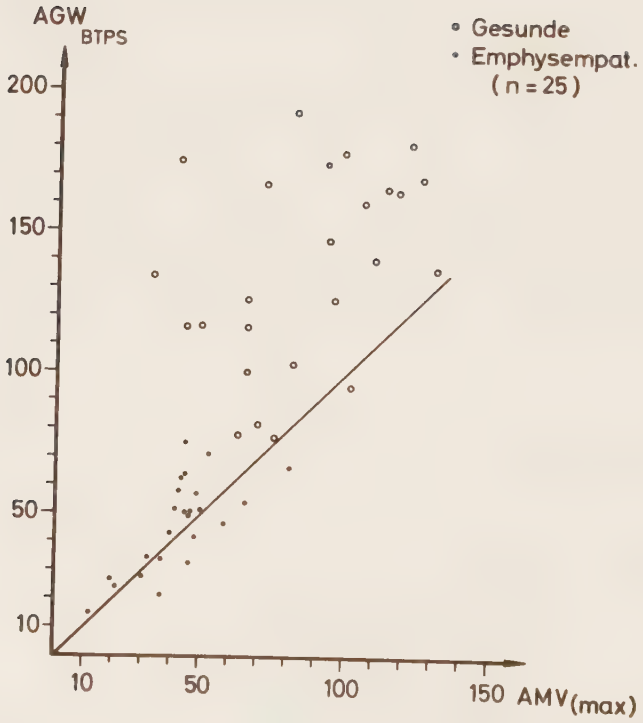


Abbildung 3 : Gegenüberstellung von Atemgrenzwert und maximalem Atemminutenvolumen bei 25 Gesunden und 25 Emphysematikern

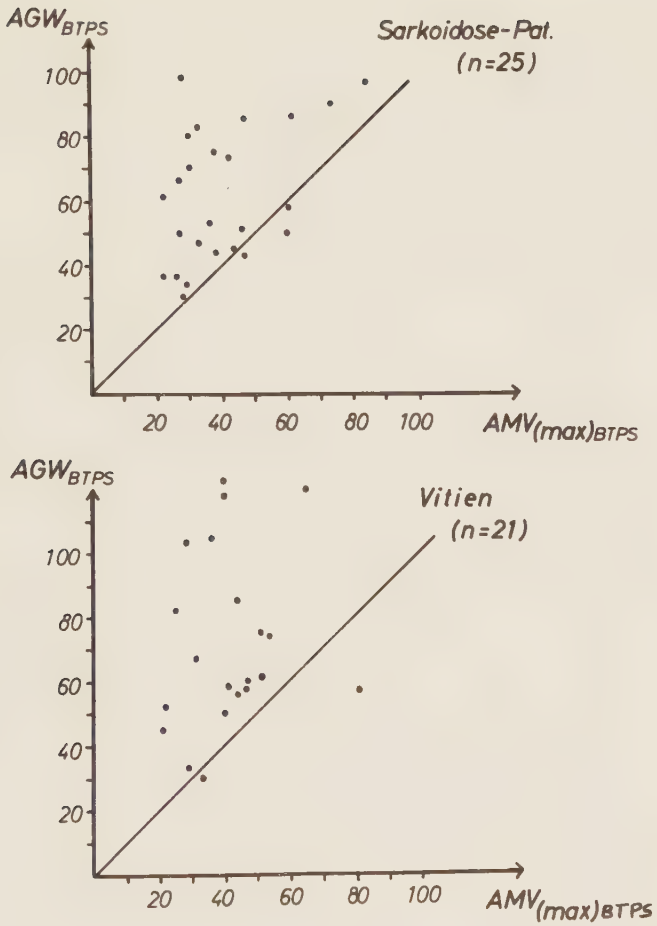


Abbildung 4 : Gegenüberstellung von Atemgrenzwert und maximalem Atemminutenvolumen bei Sarkoidose-Patienten und Vitien

1. Das Atemminutenvolumen.

Als Atemminutenvolumen wird die pro Minute in Litern gemessene Gesamtventilation der Lunge bezeichnet.

Ergebnisse bei 25 gesunden Versuchspersonen:

Ruhe :	8,4 ± 2,2	(niedr. Wert 5,9,	höchster Wert 14,2)
30 Watt :	23,1 ± 1,4	(niedr. Wert 18,7,	höchster Wert 28,2)
60 Watt :	34,1 ± 6,0	(niedr. Wert 20,0,	höchster Wert 44,2)
90 Watt :	56,1 ± 14,5	(niedr. Wert 33,0,	höchster Wert 73,0)
120 Watt :	80,1 ± 21,8	(niedr. Wert 42,5,	höchster Wert 125,0)
150 Watt :	102,0 ± 21,8	(niedr. Wert 66,3,	höchster Wert 130,0)

Ergebnisse bei 25 Emphysematikern :

Ruhe :	11,6 ± 4,1	(niedr. Wert 4,3,	höchster Wert 15,0)
30 Watt :	25,4 ± 6,1	(niedr. Wert 12,7,	höchster Wert 37,3)
60 Watt :	40,1 ± 9,1	(niedr. Wert 23,5,	höchster Wert 66,0)
90 Watt :	56,7 ± 14,9	(niedr. Wert 44,5,	höchster Wert 81,5)

Ergebnisse bei 25 Lungenfibrosen :

Ruhe :	8,7 ± 3,0	(niedr. Wert 4,1,	höchster Wert 15,3)
30 Watt :	26,6 ± 7,1	(niedr. Wert 15,0,	höchster Wert 38,1)
60 Watt :	42,3 ± 12,6	(niedr. Wert 24,2,	höchster Wert 65,0)
90 Watt :	70,6 ± 20,5	(niedr. Wert 44,3,	höchster Wert 92,5)

Ergebnisse bei 21 Vitien :

Ruhe : 7,5 ± 2,0 (niedr. Wert 5,0, höchster Wert 13,8)

30 Watt : 28,8 ± 11,6 (niedr. Wert 18,6, höchster Wert 49,8)

60 Watt : 38,3 ± 8,2 (niedr. Wert 23,5, höchster Wert 50,8)

90 Watt : 62,8 ± 16,9 (niedr. Wert 43,5, höchster Wert 88,0)

Wenn man diese Werte statistisch vergleicht, ergeben sich folgende Verhältnisse :

1. Ruhe :
Statistisch signifikante Unterschiede fanden sich :

a. zwischen Gesunden und Emphysematikern : bei 49 Freiheitsgraden und $t = 3,496$ ergab sich ein $p < 0,01$

b. zwischen Emphysematikern und Fibrosen : bei 48 Freiheitsgraden und $t = 2,9$ ergab sich ein $p < 0,01$

c. zwischen Emphysematikern und Vitien : bei 43 Freiheitsgraden und $t = 3,466$ ergab sich ein $p < 0,01$

Die Unterschiede zwischen Gesunden und Fibrosen, Gesunden und Vitien, sowie zwischen Fibrosen und Vitien sind stat. nicht signifikant.

Tabelle 5

Nr.	Ruhe	30	60	90	120	150 (Watt)
1.	7,7	---	40,4	73,0	125,0	----
2.	7,3	28,2	38,0	59,6	76,0	----
3.	6,6	20,4	30,0	60,0	63,0	----
4.	6,2	---	31,6	45,0	114,0	122,0
5.	6,1	---	20,0	33,0	---	----
6.	7,9	---	27,9	54,5	113,0	130,0
7.	10,2	---	33,8	70,0	---	----
8.	13,1	---	33,2	56,5	64,5	102,0
9.	5,9	---	35,3	62,0	78,0	129,0
10.	9,3	21,9	43,0	50,5	---	----
11.	6,0	23,3	33,0	57,8	94,0	----
12.	6,6	18,7	22,1	39,0	42,5	66,3
13.	14,2	---	38,9	55,7	79,0	105,0
14.	8,3	---	28,6	70,0	110,0	----
15.	10,2	---	37,2	52,4	77,4	114,0
16.	9,4	---	37,5	46,0	53,5	93,0
17.	7,3	---	35,0	61,0	83,9	99,0
18.	7,4	---	34,0	62,0	71,5	----
19.	6,6	---	28,0	34,7	56,7	66,0
20.	9,9	26,3	33,0	62,0	74,0	----
21.	10,0	---	41,5	60,0	82,0	----
22.	11,0	---	38,2	66,0	---	----
23.	8,3	---	34,5	65,0	---	----
24.	6,5	---	---	34,4	62,0	96,0
25.	8,5	---	44,2	74,0	82,0	----

Tabelle 5 : Das Verhalten des Atemminutenvolumens unter Belastung bei 25 gesunden VP (l/min.)

Tabelle 6

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	5,60	21,6	36,0	---
27.	5,7	----	46,5	---
28.	14,4	28,5	46,0	---
29.	11,0	18,0	---	---
30.	12,0	19,5	23,5	---
31.	12,5	27,0	30,5	---
32.	4,8	----	37,6	---
33.	6,0	27,5	34,4	58,5
34.	7,0	33,0	48,5	---
35.	7,0	----	31,3	81,5
36.	6,8	----	27,0	44,5
37.	7,0	12,7	---	---
38.	11,1	----	46,0	---
39.	15,0	29,0	36,0	---
40.	7,0	----	66,0	---
41.	7,2	37,3	48,3	---
42.	9,0	28,0	45,0	---
43.	8,0	24,5	40,0	---
44.	10,7	25,5	36,0	53,1
45.	12,1	25,6	41,7	46,0
46.	9,4	23,3	32,5	---
47.	11,7	36,0	43,6	---
48.	4,3	21,0	45,0	---
49.	6,0	24,5	42,0	---
50.	10,6	20,9	---	---

Tabelle 6 : Das Verhalten des Atemminutenvolumens unter Belastung bei 25 Emphysematikern (l/min.)

Tabelle 7

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	4,1	20,5	38,5	----
52.	7,0	15,0	24,2	----
53.	14,3	----	47,4	----
54.	8,1	----	50,5	----
55.	9,0	----	64,0	----
56.	6,1	----	55,2	92,5
57.	4,2	----	34,2	44,3
58.	9,0	----	31,0	----
59.	12,5	----	62,0	79,0
60.	8,0	----	31,3	----
61.	7,1	28,0	----	----
62.	15,3	23,0	----	----
63.	8,6	----	39,0	66,9
64.	7,6	25,5	30,8	----
65.	7,0	36,5	----	----
66.	5,8	21.9	40,0	----
67.	9,1	----	41,0	----
68.	4,7	----	33,8	----
69.	10,7	29.5	----	----
70.	5,8	----	31,0	----
71.	6,1	----	50,5	----
72.	7,8	----	50,0	----
73.	10,8	38,1	65,0	----
74.	5,5	----	26,1	----
75.	7,3	28,4	----	----

Tabelle 7 : Das Verhalten des Atemminutenvolumens unter Belastung bei 25 Patienten mit Lungenfibrose (l/min.)

Tabelle 8

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	5,6	----	32,2	----
77.	7,7	22,0	42,0	----
78.	9,9	----	30,7	----
79.	8,6	----	38,4	----
80.	7,2	21,7	----	----
81.	7,9	36,4	----	----
82.	5,3	----	23,5	----
83.	5,0	----	49,7	----
84.	6,1	47,2	----	----
85.	6,2	25,0	38,6	----
86.	8,4	----	42,0	----
87.	6,7	30,0	----	----
88.	8,3	22,0	47,2	----
89.	8,5	----	43,1	----
90.	9,0	49,8	----	----
91.	5,5	----	25,5	----
92.	7,2	18,6	32,0	69,8
93.	13,8	----	50,8	88,0
94.	6,1	----	32,5	43,5
95.	7,7	----	41,5	58,0
96.	7,2	22,8	43,3	54,9

Tabelle 8 : Das Verhalten des Atemminutenvolumens unter Belastung bei 21 Herzfehlerpatienten (l/min.)

2. Belastung :

a. 30 Watt : Auf dieser Wattstufe sind die Unterschiede der Mittelwerte statistisch nicht signifikant.
b. 60 Watt : Die Unterschiede zwischen Gesunden und Emphysematikern sind wahrscheinlich signifikant : bei 44 Freiheitsgraden und $t = 2,67$ ergibt sich ein $p < 0,05$, desgleichen zwischen Gesunden und Fibrosen : bei 42 Freiheitsgraden und $t = 2,692$ ergibt sich ein $p < 0,05$.
c. 90 Watt : Auf dieser Belastungsstufe finden sich innerhalb der einzelnen Gruppen keine signifikanten Unterschiede.

Die Einzelwerte sind in den Tabellen 5 - 8 zusammengestellt. Siehe auch die Abbildungen 5, 6, 7, 8.

Die Ergebnisse lassen eine Ruhehyperventilation der Emphysematiker erkennen. Dieses Untersuchungskollektiv und auch die Patienten mit Lungenfibrose zeigen bei 60 Watt ein deutlich höheres AMV als die beiden anderen Gruppen. Aus den graphischen Darstellungen ist zu entnehmen, daß das AMV in der Regel linear ansteigt, bei den gesunden VP - vereinzelt auch bei den Patienten - findet sich oberhalb einer bestimmten Wattstufe jedoch häufig ein steilerer Anstieg.

2. Die Sauerstoffaufnahme

Als Sauerstoffaufnahme (VO_2), gemessen in ml, wird die pro Minute aus der eingeatmeten Luft aufgenommene Sauerstoffmenge bezeichnet.

Ergebnisse bei 25 gesunden Versuchspersonen:

Ruhe : 238 ± 109 (niedr. Wert 90,5 höchster Wert 491)
30 Watt : 623 ± 132 (niedr. Wert 456, höchster Wert 805)
60 Watt : 1072 ± 240 (niedr. Wert 588, höchster Wert 1460)
90 Watt : 1563 ± 308 (niedr. Wert 1101, höchster Wert 1983)
120 Watt : 1899 ± 299 (niedr. Wert 1380, höchster Wert 2350)
150 Watt : 2286 ± 260 (niedr. Wert 1910, höchster Wert 2644)

Ergebnisse bei 25 Emphysematikern :

Ruhe : 280 ± 76 (niedr. Wert 136, höchster Wert 406)
30 Watt : 855 ± 177 (niedr. Wert 557, höchster Wert 1244)
60 Watt : 1128 ± 168 (niedr. Wert 710, höchster Wert 1500)
90 Watt : 1370 ± 346 (niedr. Wert 1350, höchster Wert 1870)

Ergebnisse bei 25 Lungenfibrosen :

Ruhe : 298 ± 64 (niedr. Wert 181, höchster Wert 450)
30 Watt : 866 ± 81 (niedr. Wert 743, höchster Wert 1150)
60 Watt : 1141 ± 189 (niedr. Wert 809, höchster Wert 1780)
90 Watt : 1496 ± 192 (niedr. Wert 1350, höchster Wert 1780)

Ergebnisse bei 21 Vitien :

Ruhe : 290 ± 94 (niedr. Wert 134, höchster Wert 483)
30 Watt : 784 ± 172 (niedr. Wert 529, höchster Wert 1081)
60 Watt : 1182 ± 221 (niedr. Wert 617, höchster Wert 1445)
90 Watt : 1538 ± 660 (niedr. Wert 618, höchster Wert 2160)

Statistisch ausgewertet ergeben sich folgende Verhältnisse :

In Ruhe sind die Unterschiede der Mittelwerte der einzelnen Gruppen nicht signifikant.

Bei 30 Watt finden sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen :

a.) Gesunden und Emphysematikern : bei 33 Freiheitsgraden und $t = 3{,}414$ ergibt sich ein $p < 0{,}01$.

b.) Gesunden und Fibrosen : bei 14 Freiheitsgraden und $t = 4{,}061$ ergibt sich ein $p < 0{,}01$.

(Die Gesunden zeigen eine niedrigere Sauerstoffaufnahme als die beiden Patientengruppen.)

Gesunde und Vitien zeigen keine signifikanten Unterschiede, desgleichen auch nicht die Patientengruppen untereinander.

Bei 60 Watt und 90 Watt lassen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Kollektiven feststellen.

Tabelle 9

Nr.	Ruhe	30	60	90	120	150 (Watt)
1.	356	----	1244	1955	2310	----
2.	179	493	896	1433	1589	----
3.	134	805	985	1732	1705	----
4.	91	----	588	(Maske undicht)		
5.	401	----	1157	1469	----	----
6.	312	----	1322	1940	2424	2644
7.	222	----	1250	1785	----	----
8.	134	----	985	1704	1835	2240
9.	276	----	911	1560	1930	----
10.	367	643	1057	1101	----	----
11.	133	619	885	1415	1950	----
12.	227	727	727	1271	1545	1910
13.	179	----	717	1704	2060	2060
14.	136	----	817	1545	1815	----
15.	91	----	1181	1635	2000	2450
16.	181	----	1090	1543	1905	2360
17.	309	----	1460	1770	2210	2568
18.	219	----	1051	1665	2110	----
19.	134	----	1075	1432	1612	1970
20.	137	456	1020	1195	1380	----
21.	406	----	1400	1983	2350	----
22.	180	----	1060	1390	----	----
23.	353	----	1335	1870	----	----
24.	268	----	----	1470	1570	2370
25.	491	----	1520	1880	2140	----

Tabelle 9 : Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme unter Belastung bei 25 gesunden VP (ml/Min.)

Tabelle 10

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	267	774	884	----
27.	225	---	989	----
28.	406	902	1350	----
29.	268	805	----	----
30.	136	710	845	----
31.	315	1032	1260	----
32.	313	----	990	----
33.	360	949	1342	1870
34.	342	1235	1500	----
35.	272	----	1132	1359
36.	267	----	918	1380
37.	317	727	----	----
38.	396	----	1190	----
39.	353	970	1190	----
40.	267	----	1160	----
41.	222	890	1245	----
42.	342	905	1175	----
43.	314	810	1170	----
44.	136	558	1017	1350
45.	178	714	1070	893
46.	272	681	1090	----
47.	312	801	986	----
48.	181	818	1000	----
49.	178	1244	1332	----
50.	359	720	----	----

Tabelle 10 : Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme unter Belastung bei 25 Emphysematikern (ml/min.)

Tabelle 11

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	221	869	1035	----
52.	314	851	1030	----
53.	267	----	1118	----
54.	358	----	989	----
55.	450	----	1260	----
56.	267	----	1340	1422
57.	316	----	1218	1350
58.	397	----	1101	----
59.	312	----	1160	1423
60.	296	----	1075	----
61.	317	860	----	----
62.	274	912	----	----
63.	400	----	1243	1780
64.	312	980	1200	----
65.	227	817	----	----
66.	271	743	1082	----
67.	225	----	1080	----
68.	269	----	809	----
69.	359	810	----	----
70.	269	----	1076	----
71.	272	----	1150	----
72.	226	----	995	----
73.	320	1010	1780	----
74.	181	----	1082	----
75.	317	815	----	----

Tabelle 11 : Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme unter Belastung bei 25 Patienten mit Lungenfibrose (ml/min.)

Tabelle 12

Nr.	Ruhe	30	60	90	(Watt)
76.	358	----	1340	----	
77.	270	721	1350	----	
78.	403	----	1070	----	
79.	483	----	1240	----	
80.	270	630	----	----	
81.	271	770	----	----	
82.	271	----	1260	----	
83.	176	----	884	----	
84.	312	715	----	----	
85.	290	862	1360	----	
86.	268	----	1140	----	
87.	223	625	----	----	
88.	353	883	1235	----	
89.	269	----	1000	----	
90.	361	991	----	----	
91.	134	----	980	----	
92.	312	1081	1445	2160	
93.	316	----	1355	1807	
94.	450	----	1347	1510	
95.	178	----	1300	1570	
96.	144	529	617	618	

Tabelle 12 : Das Verhalten der Sauerstoffaufnahme unter Belastung bei 21 Herzfehlerpatienten (ml/min.)

3. Das Atemäquivalent

Das Atemäquivalent ergibt sich aus dem Verhältnis von Atemminutenvolumen zur Sauerstoffaufnahme. Dabei wird heute am häufigsten die von Knipping eingeführte Formel verwendet, in die im Zähler der Faktor 100 eingeht :

$$\text{Atemäquivalent} = \frac{\text{Atemminutenvolumen X 100 (Ltr.)}}{\text{Sauerstoffaufnahme (m l)}}$$

Ergebnisse bei 25 gesunden Versuchspersonen :

Ruhe	:	4,4 ±	2,3	(niedr. Wert	1,5,	höchster Wert	11,2)
30 Watt	:	3,9 ±	0,8	(niedr. Wert	2,5,	höchster Wert	5,7)
60 Watt	:	3,3 ±	0,8	(niedr. Wert	1,7,	höchster Wert	5,3)
90 Watt	:	3,7 ±	1,0	(niedr. Wert	2,2,	höchster Wert	7,1)
120 Watt	:	4,1 ±	0,8	(niedr. Wert	2,7,	höchster Wert	6,1)
150 Watt	:	4,2 ±	0,6	(niedr. Wert	3,3,	höchster Wert	5,1)

Ergebnisse bei 25 Emphysematikern :

Ruhe	:	3,4 ±	1,8	(niedr. Wert	1,5,	höchster Wert	8,8)
30 Watt	:	2,9 ±	0,8	(niedr. Wert	1,7,	höchster Wert	4,5)
60 Watt	:	3,4 ±	0,9	(niedr. Wert	1,2,	höchster Wert	5,6)
90 Watt	:	3,9 ±	1,2	(niedr. Wert	2,4,	höchster Wert	5,8)

Ergebnisse bei 25 Lungenfibrosen :

Ruhe	:	2,8 ±	1,1	(niedr. Wert	1,3,	höchster Wert	5,5)
30 Watt	:	3,1 ±	0,8	(niedr. Wert	1,8,	höchster Wert	4,4)
60 Watt	:	3,7 ±	0,9	(niedr. Wert	2,3,	höchster Wert	5,3)
90 Watt	:	4,8 ±	1,5	(niedr. Wert	3,2,	höchster Wert	6,5)

Ergebnisse bei 21 Vitien :

Ruhe	:	2,8 ±	1,0	(niedr. Wert	1,3,	höchster Wert	5,0)
30 Watt	:	3,9 ±	1,4	(niedr. Wert	1,7,	höchster Wert	6,6)
60 Watt	:	3,4 ±	1,3	(niedr. Wert	1,8,	höchster Wert	7,0)
90 Watt	:	4,7 ±	2,4	(niedr. Wert	2,8,	höchster Wert	8,8)

Bei statistischer Auswertung dieser Ergebnisse ergibt sich folgendes :

Der Mittelwert der Atemäquivalente der Gesunden in Ruhe zeigt gegenüber den Emphysematikern keinen statistisch signifikanten Unterschied, liegt aber signifikant höher als bei den :

a. Lungenfibrosen : bei 48 Freiheitsgraden und $t = 3,40$ ergibt sich ein $p < 0,01$

b. Vitien : bei 44 Freiheitsgraden und $t = 3,362$ ergibt sich ein $p < 0,01$.

Die Patientengruppen zeigen untereinander keine signifikanten Unterschiede.
Bei 30 Watt ist der Mittwert der Gesunden möglicherweise signifikant höher als bei den Emphysematikern : bei 23 Freiheitsgraden und $t = 2,587$ ergibt sich ein $p < 0,05$.

Die Unterschiede gegenüber den anderen Kollektiven beruhen offenbar auf Zufall, da sich keine stat. Signifikanz nachweisen läßt. Das gleiche gilt auch für die Werte in den übrigen Wattstufen.

Die Ergebnisse zeigen, daß sowohl bei gesunden als auch bei kranken VP das $\dot{V}_A$ unter ansteigender Belastung zunächst abfällt, dann wieder ansteigt und häufig den Ruhewert überschreitet. Bei den Lungenfibrosen war ein Absinken des $\dot{V}_A$ nur in seltenen Fällen zu sehen (Abb. 14). Ungewöhnlich hohe Ruheatemäquivalente finden sich bei unseren gesunden Versuchspersonen.

Tabelle 13

Nr.	Ruhe	30	60	90	120	150 (Watt)
1.	2,2	--	3,3	3,7	5,5	---
2.	4,1	5,7	4,2	4,2	4,8	---
3.	5,0	2,5	3,1	3,5	3,7	---
4.	6,9	--	5,4	7,1	--	---
5.	1,5	--	1,7	2,3	--	---
6.	2,5	--	2,1	2,8	4,7	4,9
7.	4,6	--	2,7	3,9	--	---
8.	9,8	--	3,4	3,3	3,5	4,6
9.	2,4	--	3,9	4,0	4,0	---
10.	2,5	3,4	4,1	4,6	--	---
11.	4,5	3,8	3,7	4,0	4,8	---
12.	2,9	3,6	3,0	3,1	2,8	3,5
13.	7,9	--	5,4	3,3	3,8	5,1
14.	6,1	--	3,5	4,5	6,1	---
15.	11,2	--	3,3	3,2	3,9	4,7
16.	5,2	--	3,4	3,0	2,8	3,9
17.	2,4	--	2,4	3,5	3,8	3,9
18.	3,4	--	3,2	3,7	3,4	---
19.	4,9	--	2,6	2,4	3,5	3,4
20.	7,2	5,8	3,2	5,2	5,4	---
21.	2,5	--	3,0	3,0	3,5	---
22.	6,1	--	3,6	4,8	--	---
23.	2,4	--	2,6	3,5	--	---
24.	2,4	--	--	2,3	4,2	4,1
25.	1,7	--	2,9	3,9	3,8	---

Tabelle 13 : Das Verhalten des Atemäquivalents unter Belastung bei 25 gesunden VP

Tabelle 14

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	2,0	2,8	4,1	---
27.	2,5	---	4,7	---
28.	3,5	3,2	1,2	---
29.	4,1	2,2	---	---
30.	8,8	2,8	2,7	---
31.	4,0	2,6	2,4	---
32.	1,5	---	3,8	---
33.	1,7	2,9	2,6	2,5
34.	2,0	2,7	3,2	---
35.	2,7	---	2,8	5,9
36.	2,5	---	3,0	3,2
37.	2,2	1,8	---	---
38.	2,8	---	3,9	---
39.	4,2	3,0	3,0	---
40.	2,6	---	5,7	---
41.	3,2	4,2	3,9	---
42.	2,6	2,4	3,0	---
43.	2,5	3,0	3,4	---
44.	7,8	4,5	3,5	3,9
45.	6,8	3,7	3,9	4,1
46.	3,4	3,4	3,0	---
47.	3,7	4,5	4,4	---
48.	2,4	2,6	4,5	---
49.	3,4	2,0	3,2	---
50.	3,0	2,9	---	---

Tabelle 14 : Das Verhalten des Atemäquivalents unter Belastung bei 25 Emphysematikern

Tabelle 15

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	1,9	2,4	3,7	---
52.	2,2	1,8	2,4	---
53.	5,4	---	4,2	---
54.	2,3	---	5,1	---
55.	2,0	---	5,1	---
56.	2,3	---	4,1	6,5
57.	1,3	---	2,8	3,3
58.	2,3	---	2,8	---
59.	4,0	---	5,3	5,6
60.	2,7	---	2,9	---
61.	2,2	3,3	---	---
62,	5,6	2,5	---	---
63.	2,2	---	3,1	3,8
64.	2,4	2,6	2,6	---
65.	3,1	4,5	---	---
66.	2,1	3,0	3,7	---
67.	4,0	---	3,8	---
68.	1,8	---	4,2	---
69.	3,0	3,6	---	---
70.	2,2	---	2,9	---
71.	2,2	---	4,4	---
72.	3,5	---	5,0	---
73.	3,4	3,8	3,7	---
74.	3,0	---	2,4	---
75.	2,3	3,5	---	---

Tabelle 15 : Das Verhalten des Atemäquivalents unter Belastung bei 25 Patienten mit Lungenfibrose

Tabelle 16

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	1,6	---	2,4	---
77.	2,9	3,0	3,1	---
78.	2,5	---	2,9	---
79.	1,8	---	3,1	---
80.	2,7	3,4	---	---
81.	2,9	4,7	---	---
82.	2,0	---	1,9	---
83.	2,8	---	5,6	---
84.	2,0	6,6	---	---
85.	2,1	2,9	2,8	---
86.	3,1	---	3,7	---
87.	3,0	4,8	---	---
88.	2,4	2,5	3,8	---
89.	3,2	---	4,3	---
90.	2,5	5,0	---	---
91.	4,1	---	2,6	---
92.	2,3	1,7	2,2	3,2
93.	4,4	---	3,8	4,9
94.	1,4	---	2,4	2,9
95.	4,3	---	3,2	3,7
96.	5,0	4,3	7,0	8,9

Tabelle 16 : Das Verhalten des Atemäquivalents unter Belastung bei 21 Herzfehlerpatienten

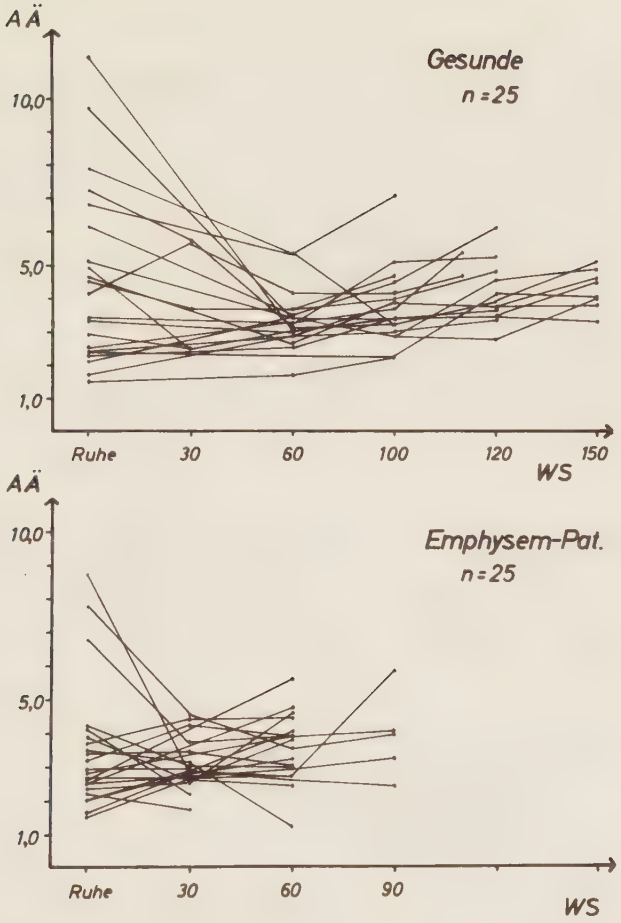


Abbildung 13 : Atemäquivalent unter ansteigender Belastung bei Gesunden und Emphysematikern

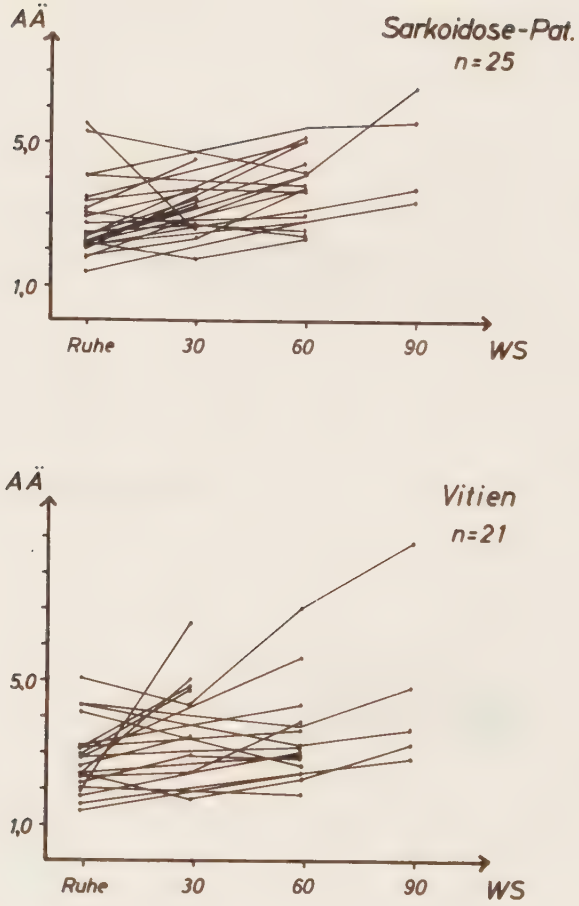


Abbildung 14 : Atemäquivalent unter ansteigender Belastung bei Patienten mit Lungenfibrose und Herzfehlern

4. Der Sauerstoffpartialdruck

Die Messung des pO_2 unter Arbeitsbelastung stieß bisher auf technische Schwierigkeiten, da die unvermeidliche Arterienpunktion ziemlich aufwendig ist und für den Patienten keine geringe Belastung bedeutet. Erst nachdem eine geeignete Methode gefunden war (Abwandlung der Platinelektrode von Lübbers), die die pO_2 - Bestimmung in kleinen Blutmengen erlaubt, die dem Ohrläppchenkapillarblut entnommen werden, ist die Messung des Sauerstoffpartialdrucks routinemäßig möglich. Es ist bereits oben darauf hingewiesen worden, daß im arteriellen und Ohrläppchenkapillarblut gemessene Sauerstoffpartialdrucke gute Übereinstimmung zeigen und somit auch das Mikroverfahren brauchbare Meßwerte ergibt.

Das Verhalten des Sauerstoffpartialdrucks wurde bei 5 gesunden VP untersucht. Siehe auch Abbildung 9. Die Ergebnisse sind in Tabelle 17 dargestellt. Wegen der geringen Anzahl der Probanden wurde auf die Berechnung der Mittelwerte verzichtet.

Sauerstoffpartialdruck bei 5 gesunden VP (in mm Hg)

Nr.	Alter	Ruhe	60	90	120	150 (Watt)
21	23	94,0	102,0	103,5	106,0	----
22	55	80,0	81,0	86,0	----	----
23	38	81,0	86,0	100,2	----	----
24	24	92,0	----	96,0	97,5	95,0
25	22	88,0	96,5	97,0	99,5	----

Tabelle 17

Tabelle 18

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	67,5	92,5	96,5	----
27.	77,7	----	80,1	----
28.	73,0	76,0	91,0	----
29.	67,5	80,9	----	----
30.	86,5	82,8	79,0	----
31.	68,0	85,2	82,5	----
32.	86.8	----	96,0	----
33.	69,5	74,0	73,2	74,9
34.	73,0	107,0	108,0	----
35.	77,1	----	104,9	104,1
36.	70,3	----	84,3	87,2
37.	33,6	34,7	----	----
38.	92,0	----	105,2	----
39.	89,8	91,6	90,1	----
40.	71,3	----	95,8	----

Tabelle 18 : Das Verhalten des Sauerstoffpartialdrucks unter Belastung bei 15 Emphysematikern (mm Hg)

Tabelle 19

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	73,8	74,2	74,0	----
52.	78,8	92,0	95,0	----
53.	78,6	----	75,9	----
54.	83,1	----	73,3	----
55.	73,9	----	79,0	----
56.	69,5	----	84,0	83,2
57.	88,1	----	92,5	101,8
58.	72,8	----	102,0	----
59.	65,8	----	90,5	61,5
60.	72,5	----	83,5	----
61.	67,5	73,5	----	----
62.	61,0	69,0	----	----
63.	82,5	----	81,2	79,5
64.	79,0	96,0	82,2	----
65.	89,2	97,5	----	----
66.	66,0	77,0	87,6	----
67.	76,7	----	93,5	----
68.	76,9	----	98,9	----
69.	71,8	90,0	----	----
70.	89,2	----	100,5	----
71.	82,9	----	84,5	----
72.	93,3	----	96,0	----
73.	78,6	72,0	---	----
74.	71,0	----	80,8	----

Tabelle 19 : Das Verhalten des Sauerstoffpartialdrucks unter Belastung bei 24 Patienten mit Lungenfibrose (mm Hg)

Tabelle 20

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	75,2	----	71,0	----
77.	89,0	103,0	102,0	----
78.	79,2	----	97,6	----
79.	87,8	----	95,8	----
80.	98,2	89,5	----	----
81.	86,2	86,6	----	----
82.	74,9	----	78,8	----
83.	81,7	----	102,8	----
84.	81,1	102,0	----	----
85.	74,8	61,8	54,1	----
86.	83,5	----	73,8	----
87.	72,9	75,3	----	----
88.	92,5	93,5	102,2	----
89.	82,5	----	102,8	----
90.	89,2	86,7	----	----
91.	81,0	----	95,3	----
92.	93,0	99,5	97,0	94,0

Tabelle 20 : Das Verhalten des Sauerstoffpartialdrucks unter Belastung bei 17 Herzfehlerpatienten (mm Hg)

Bei allen Versuchspersonen stieg der pO_2 bis zur letzten Belastungsstufe an, lediglich bei VP 24 fiel der Wert bei 150 Watt geringfügig ab, erreichte aber nicht den Ruhewert.

Ergebnisse bei 15 Emphysematikern :

Ruhe : 73,6 ± 13,1 (niedr. Wert 33,6, höchster Wert 92,0)
30 Watt : 80,5 ± 19,8 (niedr. Wert 34,7, höchster Wert 107,0)
60 Watt : 91,3 ± 11,0 (niedr. Wert 73,2, höchster Wert 108,0)

Die Versuchspersonen 33, 35 und 36 erreichten 90 Watt mit einem pO_2 von 74,9, 104,1 und 87,2 mm Hg.

Von 15 untersuchten Patienten zeigten 12 VP einen kontinuierlichen Anstieg des Sauerstoffpartialdrucks bis zur letzten Wattstufe. Versuchsperson 30 zeigte einen kontinuierlichen Abfall des pO_2. Bei den übrigen zwei VP (31 und 33) stieg der pO_2 zunächst an und fiel dann geringfügig ab, bzw. blieb konstant bis zur letzten Wattstufe.

Ergebnisse bei 24 Lungenfibrosen :

Ruhe : 76,8 ± 8,3 (niedr. Wert 61,0, höchster Wert 93,3)
30 Watt : 82,3 ± 11,2 (niedr. Wert 69,0, höchster Wert 97,5)
60 Watt : 91,3 ± 10,3 (niedr. Wert 73,3, höchster Wert 100,5)

Die Wattstufe 90 wurde von den VP 56, 57, 59 und 63 erreicht mit den zugehörigen Werten von 83,2, 101,8, 61,5 und 79,5 mm Hg.

16 von 24 VP zeigten unter Belastung einen kontinuierlichen Anstieg des pO_2. VP 51 blieb konstant, VP 73 fiel zunächst 78,6 in Ruhe auf 72,0 bei 30 Watt und stieg bei 60 Watt wieder

auf 79,8 mm Hg an. 3 VP fielen kontinuierlich ab (VP 53, 54, 63), die VP 59 und 64 stiegen zunächst an, fielen aber bei der nächsten Belastungsstufe ab, wobei VP 59 unter den Ruhewert kam.

Ergebnisse bei 17 Vitien :

Ruhe	: 83,6 ± 7,3	(niedr. Wert 72,9,	höchster Wert 98,2)
30 Watt	: 88,6 ± 13,4	(niedr. Wert 61,8,	höchster Wert 103,0)
60 Watt	: 89,4 ± 16,0	(niedr. Wert 54,1,	höchster Wert 102,8)

Die Versuchsperson 92 erreichte 90 Watt mit einem pO_2 94,0 mm Hg.

9 Versuchspersonen von 17 zeigten einen kontinuierlichen Anstieg des pO_2 unter Belastung. VP 77 stieg von 89,0 in Ruhe auf 103,0 bei 30 Watt und fiel bei 60 Watt geringfügig auf 102,0 mm Hg, VP 92 stieg von 93,0 in Ruhe auf 99,5 bei 30 Watt, fiel bei 60 Watt auf 97,0 und bei 90 Watt auf 94,0 mm Hg. Die VP 76, 80, 85 und 86 zeigten unter Belastung einen kontinuierlichen Abfall des pO_2.

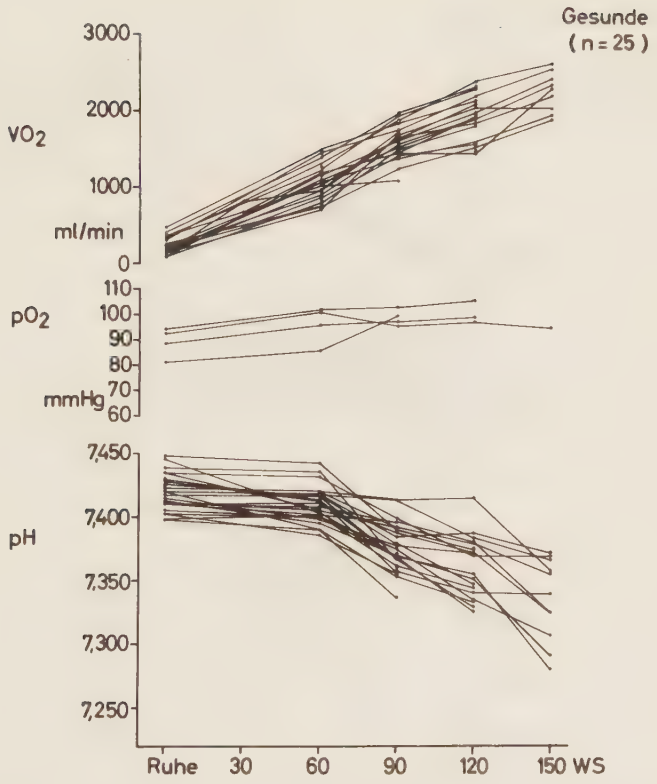


Abbildung 9 : Sauerstoffaufnahme, Sauerstoffpartialdruck und pH - Wert unter ansteigender Belastung bei Gesunden

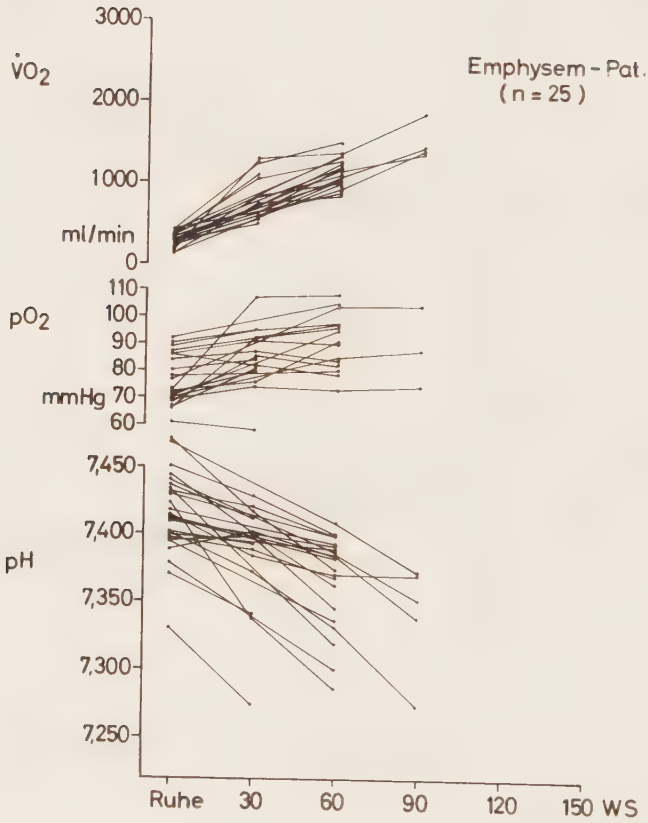


Abbildung 10 : Sauerstoffaufnahme, Sauerstoffpartialdruck und pH - Wert unter ansteigender Belastung bei Emphysematikern

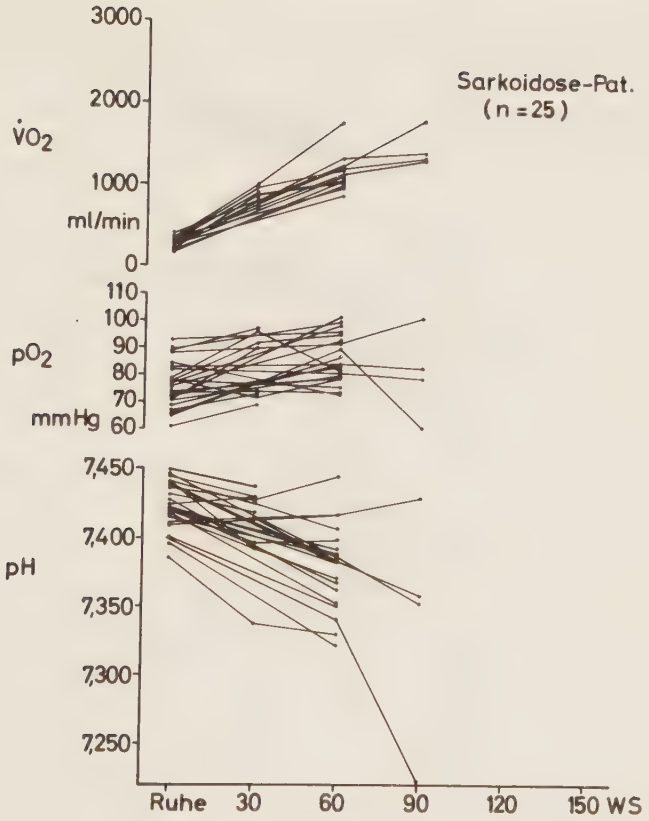


Abbildung 11 : Sauerstoffaufnahme, Sauerstoffpartialdruck und pH - Wert unter ansteigender Belastung bei Patienten mit Morbus Boeck

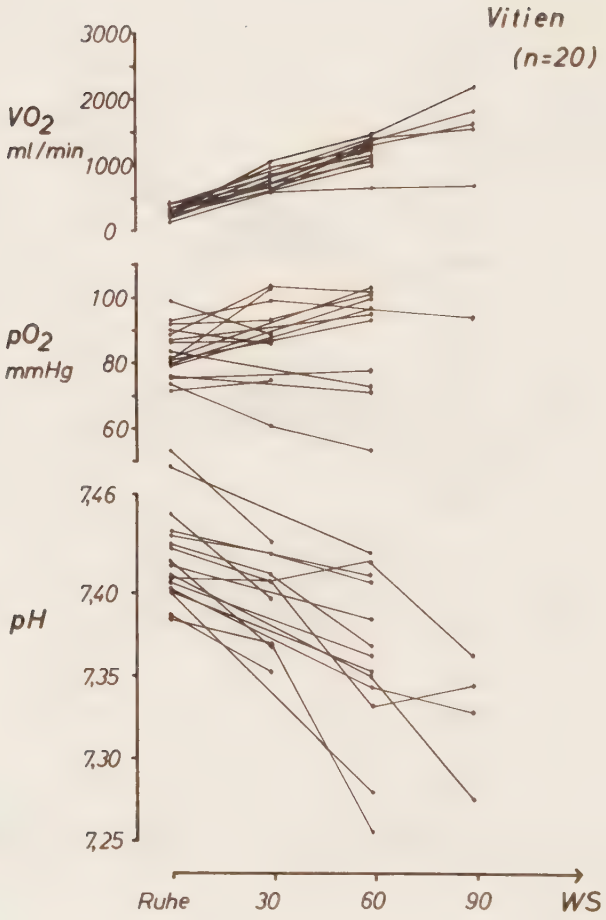


Abbildung 12 : Sauerstoffaufnahme, Sauerstoffpartialdruck und pH - Wert unter ansteigender Belastung bei Herzfehlerpatienten

Auf den einzelnen Wattstufen lassen die Gruppen keine signifikanten Unterschiede erkennen.

Die Ergebnisse zeigen, daß unter Belastung der Sauerstoffpartialdruck in der Mehrzahl der Fälle um mehrere mm Hg anstieg, in 7 Fällen fand sich ein Abfall von über 4 mm Hg unter den Ruhewert. Siehe auch die Tabellen 17 - 20 und die Abbildungen 9 - 12 !

5. Der Kohlensäurepartialdruck :

Der Kohlensäurepartialdruck wird nach dem gleichen Prinzip gemessen wie der pO_2. Die Ergebnisse bei 5 gesunden Versuchspersonen sind in Tabelle 21 dargestellt :

Kohlensäurepartialdruck bei 5 gesunden VP (in mm Hg)

Nr.	Ruhe	60	90	120	150 (Watt)
21	40,0	38,0	35,0	39,5	----
22	40,0	36,0	39,0	----	----
23	41,0	40,5	37,0	----	----
24	35,0	----	34,0	34,0	35,5
25	39,0	39,5	39,5	40,0	----

Tabelle 21

Die Ergebnisse bei den 5 gesunden VP zeigen, daß der Kohlensäurepartialdruck unter Belastung nur geringen Schwankungen unterworfen ist. Ganz analoge Verhältnisse fanden sich bei 15 Emphysematikern, 24 Lungenfibrosen und 17 Vitien.

Darüberhinaus zeigt sich, daß das Verhalten des pCO_2 uncharakteristisch ist. Im Verlauf einer ansteigenden Belastung kann der pCO_2 ansteigen, abfallen oder konstant bleiben. Er kann zunächst abfallen und auf der nächsten Belastungsstufe wieder ansteigen, oder er kann zunächst ansteigen und bei höherer Belastung wieder abfallen. In allen Fällen jedoch bewegen sich die Schwankungen im Rahmen weniger mm Hg. Es wird aus diesen Gründen hier auf eine ins Detail gehende Schilderung der Versuchsergebnisse verzichtet und auf die Abbildungen 5 - 8 verwiesen. Die Einzelwerte der Versuchspersonen können den Tabellen 21 - 24 entnommen werden.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen sowie zwischen Anstieg und Abfall auf den einzelnen Belastungsstufen sind statistisch nicht signifikant.

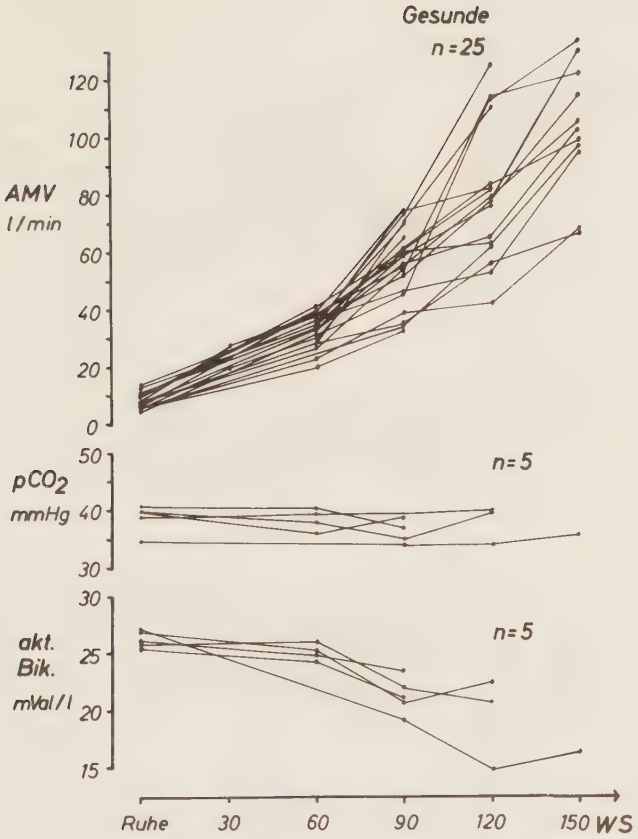


Abbildung 5 : Atemminutenvolumen, Kohlensäurepartialdruck und aktuelles Bikarbonat unter ansteigender Belastung bei gesunden Versuchspersonen

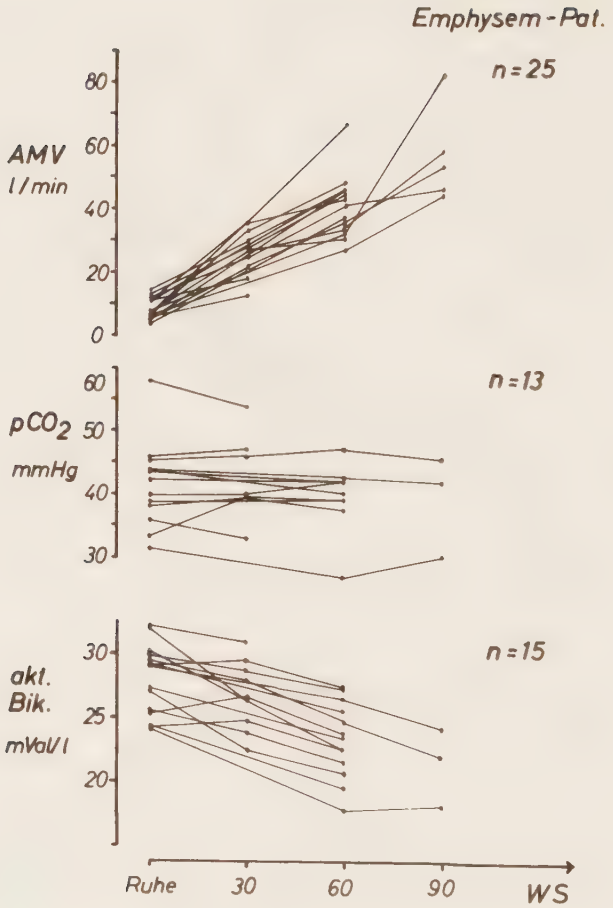


Abbildung 6 : Atemminutenvolumen, Kohlensäurepartialdruck und aktuelles Bikarbonat unter ansteigender Belastung bei Emphysematikern

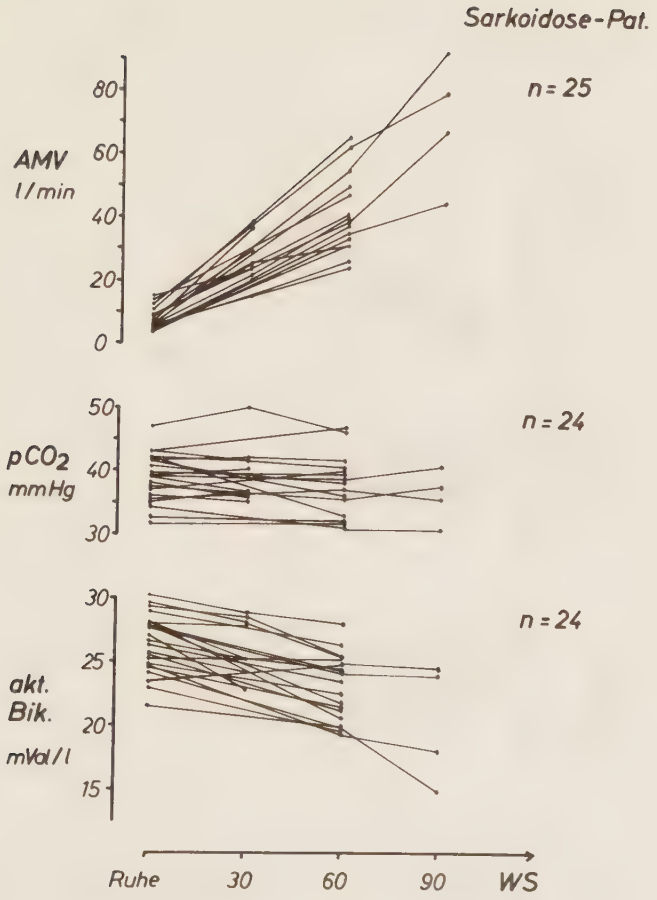


Abbildung 7 : Atemminutenvolumen, Kohlensäurepartialdruck und aktuelles Bikarbonat unter ansteigender Belastung bei Patienten mit Morbus Boeck

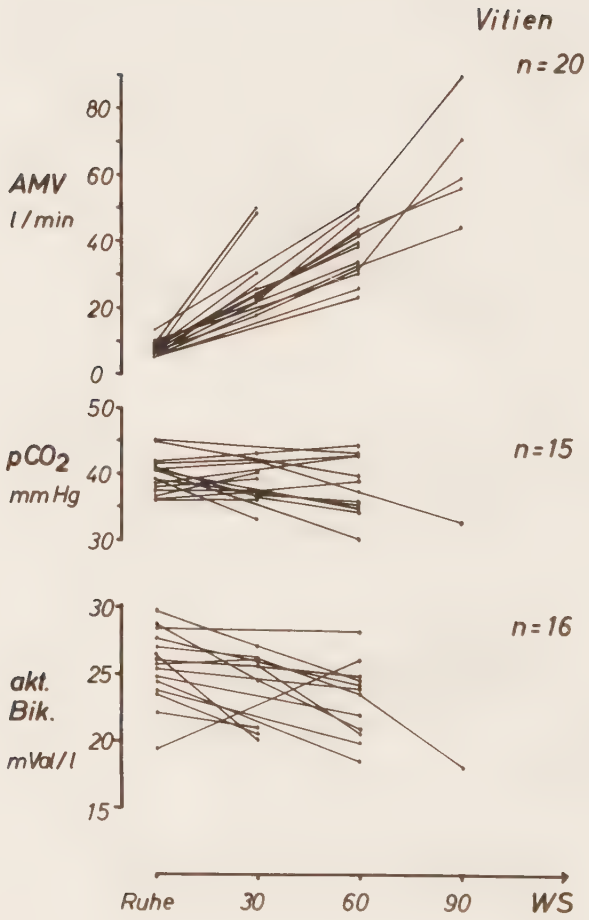


Abbildung 8 : Atemminutenvolumen, Kohlensäurepartialdruck und aktuelles Bikarbonat unter ansteigender Belastung bei Patienten mit Herzfehlern

Tabelle 22

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	36,0	33,0	34,5	----
27.	44,0	----	40,0	----
28.	42,0	42,5	43,0	----
29.	46,0	47,0	----	----
30.	44,0	42,5	43,0	----
31.	40,0	40,0	42,0	----
32.	43,9	----	42,2	----
33.	45,5	46,0	47,0	45,5
34.	38,0	39,5	37,5	----
35.	31,8	----	26,9	30,1
36.	44,0	----	42,5	42,0
37.	58,3	54,8	----	----
38.	39,0	----	39,0	----
39.	33,5	39,5	39,0	----
40.	42,5	----	42,0	----

Tabelle 22 : Das Verhalten des Kohlensäurepartialdrucks unter Belastung bei 15 Emphysematikern (mm Hg)

Tabelle 23

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	41,5	42,0	41,5	----
52.	42,0	41,5	40,5	----
53.	37,0	----	40,0	----
54.	40,7	----	40,5	----
55.	41,2	----	40,0	----
56.	39,0	----	38,5	40,5
57.	34,6	----	31,2	30,8
58.	41,3	----	36,0	----
59.	37,5	----	35,5	37,5
60.	35,8	----	36,6	----
61.	36,0	35,0	----	----
62.	39,0	36,5	----	----
63.	35,5	----	37,0	35,5
64.	43,0	41,5	40,5	----
65.	39,0	40,0	----	----
66.	40,5	39,0	38,0	----
67.	32,8	----	31,9	----
68.	41,9	----	32,8	----
69.	38,0	36,0	----	----
70.	36,5	----	36,0	----
71.	31,5	----	31,4	----
72.	39,3	----	39,5	----
73.	47,0	50,0	----	----
74.	43,0	----	46,5	----

Tabelle 23 : Das Verhalten des Kohlensäurepartialdrucks unter Belastung bei 24 Patienten mit Lungenfibrose (mm Hg)

Tabelle 24

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	45,0	----	43,0	----
77.	45,0	42,0	39,5	----
78.	36,0	----	38,5	----
79.	40,5	----	42,5	----
80.	36,5	40,0	----	----
81.	36,5	36,5	----	----
82.	39,0	----	35,5	----
83.	40,5	----	30,0	----
84.	39,0	33,0	----	----
85.	42,0	43,0	44,0	----
86.	38,5	----	42,5	----
87.	38,0	39,0	----	----
88.	41,5	36,8	34,3	----
89.	37,5	----	35,8	----
90.	37,0	37,5	----	----
91.	40,3	----	34,8	----
92.	41,5	42,0	37,0	32,5

Tabelle 24 : Das Verhalten des Kohlensäurepartialdrucks unter Belastung bei 17 Herzfehlerpatienten (mm Hg)

6. Der pH - Wert

1. 25 gesunde VP.
Hier fand sich ein mittlerer Ruhewert von
7,421 ± 0,014 (niedr. Wert 7,398, höchster Wert 7,448).
Bei 30 Watt sank er geringfügig auf
7,411 ± 0,018 (niedr. Wert 7,391, höchster Wert 7,440),
bei 60 Watt auf
7,409 ± 0,015 (niedr. Wert 7,381, höchster Wert 7,442),
bei 90 Watt auf
7,373 ± 0,020 (niedr. Wert 7,337, höchster Wert 7,414),
bei 120 Watt auf
7,361 ± 0,025 (niedr. Wert 7,326, höchster Wert 7,415)
und bei 150 Watt auf
7,336 ± 0,032 (niedr. Wert 7,281, höchster Wert 7,372).
VP 2 zeigte bis 90 Watt einen kontinuierlichen Abfall, stieg bei 120 Watt aber wieder um 0,016 ph - Einheiten an. Die bei anderen Versuchspersonen beobachteten geringfügigen pH - Anstiege unter der Belastung fallen in die Fehlerbreite der Methode.

2. 25 Emphysematiker
Hier fand sich ein mittlerer Ruhewert von
7,414 ± 0,041 (niedr. Wert 7,330, höchster Wert 7,470).
Der pH - Wert fiel bei 30 Watt auf
7,395 ± 0,056 (niedr. Wert 7,273, höchster Wert 7,450),
bei 60 Watt auf
7,370 ± 0,041 (niedr. Wert 7,285, höchster Wert 7,440)
und bei 90 Watt auf
7,341 ± 0,027 (niedr. Wert 7,273, höchster Wert 7,371).
Die VP 26, 42, 44 zeigten auf der ersten Belastungsstufe zunächst einen Anstieg, fielen dann aber unter den Ruhewert ab. VP 41 zeigte einen kontinuierlichen Anstieg bis zur letzten Wattstufe. (60 Watt).

Tabelle 25

Nr.	Ruhe	30	60	90	120	150 (Watt)
1.	7,420	-----	7,390	7,355	7,335	-----
2.	7,446	7,440	7,403	7,379	7,395	-----
3.	7,420	7,410	7,381	7,360	7,339	-----
4.	7,430	-----	7,414	7,356	7,341	7,340
5.	7,423	-----	7,420	7,392	-----	-----
6.	7,402	-----	7,400	7,375	7,335	7,307
7.	7,398	-----	7,390	7,337	-----	-----
8.	7,410	-----	7,411	7,389	7,373	7,325
9.	7,405	-----	7,400	7,371	7,352	7,292
10.	7,411	7,405	7,405	7,391	-----	-----
11.	7,411	7,391	7,402	7,362	7,345	-----
12.	7,398	7,402	7,403	7,397	7,381	7,325
13.	7,420	-----	7,418	7,385	7,388	7,372
14.	7,423	-----	7,418	7,380	7,348	-----
15.	7,417	-----	7,418	7,414	7,415	7,358
16.	7,410	-----	7,408	7,396	7,380	7,356
17.	7,435	-----	7,432	7,400	7,370	7,370
18.	7,414	-----	7,399	7,378	7,371	-----
19.	7,425	-----	7,420	7,414	7,383	7,367
20.	7,421	7,418	7,415	7,369	7,326	-----
21.	7,448	-----	7,442	7,390	7,375	-----
22.	7,435	-----	7,405	7,398	-----	-----
23.	7,413	-----	7,395	7,371	-----	-----
24.	7,436	-----	-----	7,368	7,356	7,281
25.	7,439	-----	7,436	7,367	7,330	-----

Tabelle 25 : Das Verhalten des pH - Wertes unter Belastung bei 25 gesunden VP

Tabelle 26

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	7,440	7,450	7,387	-----
27.	7,411	-----	7,393	-----
28.	7,430	7,431	7,399	-----
29.	7,435	7,411	-----	-----
30.	7,417	7,420	7,394	-----
31.	7,421	7,339	7,285	-----
32.	7,432	-----	7,318	-----
33.	7,400	7,372	7,331	7,273
34.	7,397	7,388	7,368	-----
35.	7,469	-----	7,408	7,371
36.	7,411	-----	7,385	7,351
37.	7,330	7,273	-----	-----
38.	7,378	-----	7,300	-----
39.	7,470	7,416	7,373	-----
40.	7,396	-----	7,335	-----
41.	7,427	7,438	7,440	-----
42.	7,396	7,412	7,390	-----
43.	7,450	7,428	7,400	-----
44.	7,389	7,401	7,385	7,338
45.	7,412	7,383	7,370	7,370
46.	7,395	7,398	7,345	-----
47.	7,443	7,400	7,368	-----
48.	7,401	7,400	7,388	-----
49.	7,431	7,420	7,398	-----
50.	7,370	7,341	-----	-----

Tabelle 26 : Das Verhalten des pH - Wertes unter Belastung bei 25 Emphysematikern

Tabelle 27

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	7,441	7,427	7,408	-----
52.	7,411	7,413	7,383	-----
53.	7,423	-----	7,388	-----
54.	7,422	-----	7,368	-----
55.	7,400	-----	7,360	-----
56.	7,440	-----	7,386	7,359
57.	7,445	-----	7,385	7,353
58.	7,415	-----	7,370	-----
59.	7,400	-----	7,340	7,221
60.	7,428	-----	7,362	-----
61.	7,445	7,430	-----	-----
62.	7,424	7,430	-----	-----
63.	7,410	-----	7,418	7,430
64.	7,437	7,429	7,445	-----
65.	7,450	7,438	-----	-----
66.	7,420	7,397	7,399	-----
67.	7,438	-----	7,382	-----
68.	7,415	-----	7,389	-----
69.	7,441	7,392	-----	-----
70.	7,422	-----	7,382	-----
71.	7,422	-----	7,392	-----
72.	7,397	-----	7,321	-----
73.	7,385	7,338	7,330	-----
74.	7,418	-----	7,352	-----
75.	7,432	7,419	-----	-----

Tabelle 27 : Das Verhalten des pH - Wertes unter Belastung bei 25 Patienten mit Lungenfibrose

Tabelle 28

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	7,408	-----	7,364	-----
77.	7,440	7,425	7,408	-----
78.	7,479	-----	7,425	-----
79.	7,438	-----	7,413	-----
80.	7,489	7,433	-----	-----
81.	7,500	7,503	-----	-----
82.	7,438	-----	7,441	-----
83.	7,400	-----	7,410	-----
84.	7,448	7,399	-----	-----
85.	7,385	7,370	7,257	-----
86.	7,401	-----	7,280	-----
87.	7,385	7,352	-----	-----
88.	7,429	7,412	7,368	-----
89.	7,403	-----	7,351	-----
90.	7,419	7,369	-----	-----
91.	7,388	-----	7,372	-----
92.	7,411	7,408	7,420	7,362
93.	7,411	-----	7,350	7,277
94.	7,417	-----	7,385	7,408
95.	7,403	-----	7,344	7,329
96.	7,428	7,408	7,333	7,345

Tabelle 28 : Das Verhalten des pH - Wertes unter Belastung bei 21 Herzfehlerpatienten

3. 25 Lungenfibrosen

In Ruhe betrug der mittlere pH - Wert
7,423 ± 0,017 (niedr. Wert 7,385, höchster Wert 7,450),
er fiel bei 30 Watt auf
7,411 ± 0,030 (niedr. Wert 7,338, höchster Wert 7,438),
bei 60 Watt auf
7,382 ± 0,030 (niedr. Wert 7,321, höchster Wert 7,445)
und bei 90 Watt auf
7,340 ± 0,087 (niedr. Wert 7,221, höchster Wert 7,430).
Die VP 63 und 64 zeigten einen Anstieg unter der Belastung.

4. 21 Vitien

In Ruhe fand sich ein mittlerer pH - Wert von
7,424 ± 0,028 (niedr. Wert 7,385, höchster Wert 7,489),
er fiel bei 30 Watt auf
7,397 ± 0,028 (niedr. Wert 7,352, höchster Wert 7,433),
bei 60 Watt auf
7,370 ± 0,046 (niedr. Wert 7,257, höchster Wert 7,441)
und bei 90 Watt auf
7,315 ± 0,061 (niedr. Wert 7,227, höchster Wert 7,362).

Bei VP 96 sank der pH - Wert bis 60 Watt auf 7,333 und stieg bei 90 Watt wieder geringfügig an. VP 92 zeigte einen geringen Anstieg des pH - Wertes bis 60 Watt, bei 90 Watt jedoch einen erheblichen Abfall. Bei den VP 82 und 83 fand sich ein geringer Anstieg über den Ruhewert.

Die Einzelergebnisse sind in den Tabellen 25 - 28 und den Abbildungen 9 - 12 und 15 - 16 dargestellt.

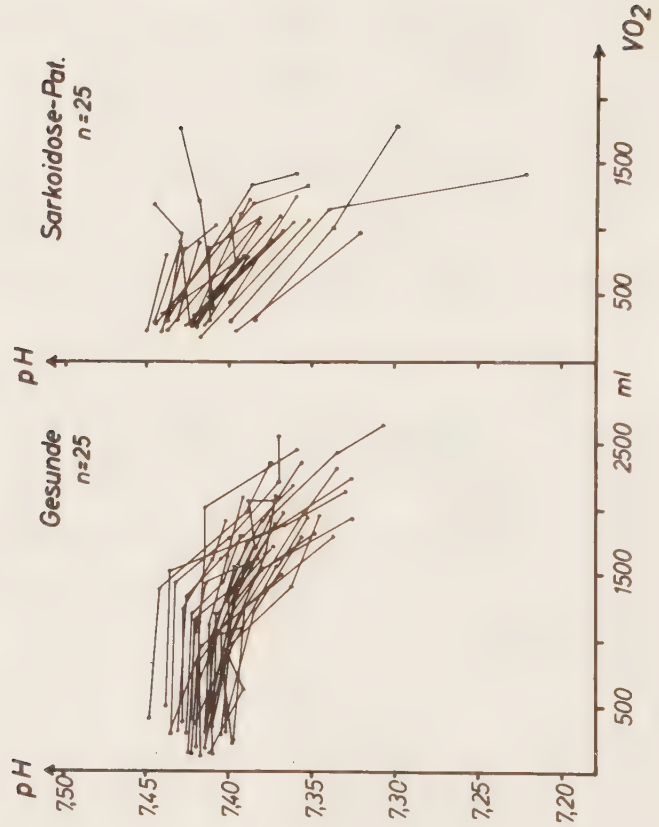


Abbildung 15 : pH - Werte in Beziehung zur jeweiligen Sauerstoffaufnahme bei Gesunden und Patienten mit Morbus Boeck

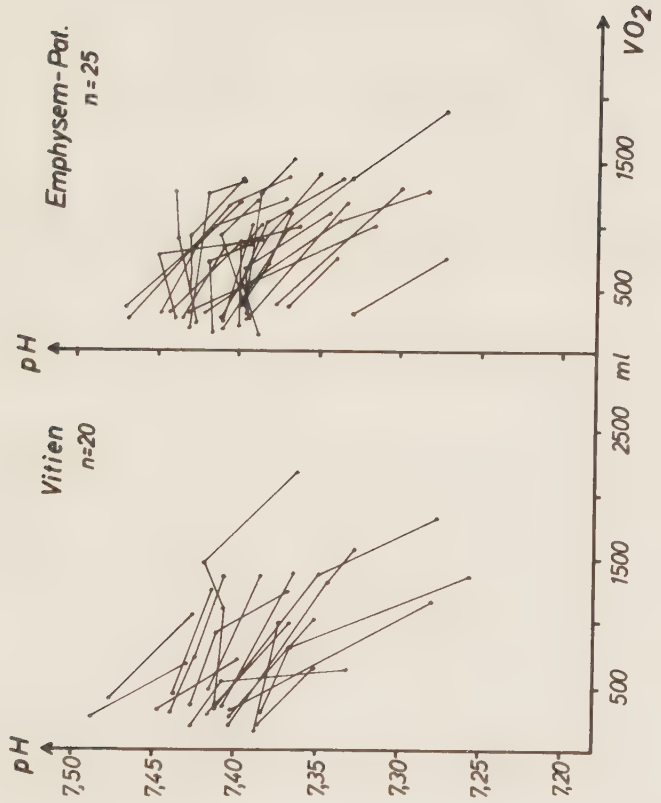


Abbildung 16 : pH - Wert in Beziehung zur jeweiligen Sauerstoffaufnahme bei Herzfehlerpatienten und Emphysematikern

Die Ergebnisse zeigen, daß die Patientengruppen einheitlich und erheblich früher mit dem pH - Wert absinken als Gesunde. Während die gesunden Versuchspersonen bis 60 Watt so gut wie keine pH - Schwankungen aufweisen, ist bei den Patienten schon eine beträchtliche Verschiebung zum Sauren aufgetreten. Dabei ergeben sich für Vitien und Emphysematiker bei 60 Watt annähernd gleiche Mittelwerte, die Fibrosen liegen etwas höher.

Die Unterschiede in Ruhe und bei 30 Watt zwischen den einzelnen Kollektiven sind statistisch nicht signifikant. Bei 60 Watt liegen folgende Verhältnisse vor :

Die Emphysematiker liegen stark signifikant tiefer als die gesunden VP : bei 45 Freiheitsgraden und $t = 4{,}566$ ergibt sich ein $p < 0{,}001$.

Das gleiche gilt für die Fibrosen : bei 42 Freiheitsgraden und $t = 3{,}546$ ergibt sich ein $p < 0{,}001$.

Der Unterschied zwischen Gesunden und Vitien ist signifikant : bei 38 Freiheitsgraden und $t = 3{,}430$ ergibt sich ein $p < 0{,}01$.

Bei 90 Watt findet sich zwischen Gesunden und Emphysematikern ein wahrscheinlich signifikanter Unterschied : bei 28 Freiheitsgraden und $t = 2{,}288$ ergibt sich ein $p < 0{,}05$.
Die Unterschiede zwischen den übrigen Gruppen sind statistisch nicht signifikant.

7. Das aktuelle Bikarbonat

Mit der alleinigen Beobachtung des pH - Verhaltens, das lediglich anzeigt, ob das Säure - Basen - Gleichgewicht konstant bleibt, ist noch nichts darüber ausgesagt, ob unter der Belastung eine rein metabolische Acidose oder auch teilweise respiratorische Acidose entstanden ist. Man wird hierzu ergänzend den pCO_2 und das Bikarbonat bestimmen müssen. Für die metabolische Acidose gilt ein niedriger pH - Wert und kompensatorische Verminderung des Bikarbonats und des pCO_2 als beweiskräftig, die respiratorische Acidose ist durch einen erhöhten pCO_2 und erniedrigten pH - Wert gekennzeichnet.
(Roberts, Rein, Ciresa, Marx, Astrup, Julich, Felder, Lawin u. Mit.).

Um die gemessenen pH - Werte und Kohlensäurepartialdrucke entsprechend einordnen zu können, wurden nach der Henderson - Hasselbalchschen Gleichung die aktuellen Bikarbonate berechnet. Die Einzelwerte finden sich in den Tabellen 29 - 32 . Siehe auch die Abbilungen 5 - 8 !

Felder hat 1960 ein Diagramm zur blutgasanalytischen Diagnose aus pH - Wert, pCO_2 und Bikarbonat angegeben. Nach diesem Diagramm wurden die nach der Belastungsuntersuchung entstandenen Stoffwechselsituationen ermittelt.

Es fanden sich folgende Ergebnisse:

Bei den 5 gesunden VP lagen VP 21 und 22 am Ende der Belastung im Neutralbereich, VP 23 und 24 zeigten eine teilweise kompensierte metabolische Acidose und VP 25 ließ

eine nicht kompensierte metabolische Acidose erkennen.

Bei den 15 Emphysematikern fand sich 3 mal eine nichtkompensierte metabolische Acidose (VP 38, 39, 40), 2 mal eine nichtkompensierte respiratorische Acidose (VP 36, 37), 2 mal eine teilweise kompensierte metabolische Acidose (VP 34, 35), 3 mal eine respiratorische Acidose und metabolische Acidose (VP 31, 32, 33), 3 mal eine kompensierte respiratorische Acidose (VP 28, 29, 30), 1 mal eine kompensierte metabolische Acidose (VP 26) und einmal ein neutraler Status (VP 27).

Bei den 24 Fibrosen fand sich 2 mal eine nichtkompensierte respiratorische Acidose (VP 73, 74), 1 mal eine nichtkompensierte metabolische Acidose (VP 72), 6 mal eine kompensierte metabolische Acidose (VP 66, 67, 68, 69, 70, 71) 2 mal eine nicht kompensierte metabolische Alkalose (VP 64, 65), 3 mal eine nichtkompensierte respiratorische Alkalose (VP 61, 62, 63), 4 mal eine teilweise kompensierte metabolische Acidose (VP 53, 57, 58, 60) und 6 mal fand sich ein neutraler Status.

Bei den 17 Vitien fand sich 5 mal eine teilweise kompensierte metabolische Acidose (VP 88, 89, 90, 91, 92) 1 mal eine nichtkompensierte metabolische Acidose (VP 87), 2 mal eine respiratorische und metabolische Acidose (VP 85, 86), 2 mal eine kompensierte respiratorische Alkalose (VP 83, 84), einmal eine nicht kompensierte respiratorische Alkalose (VP 82), einmal eine metabolische und respiratorische Alkalose (VP 81), einmal eine nicht kompensierte respiratorische Acidose (VP 76) und 4 mal ein neutraler Status (VP 77, 78, 79, 80).

Tabelle 29

Nr.	Ruhe	60	90	120	150 (Watt)
21.	27,0	25,3	20,7	22,6	----
22.	26,1	24,9	23,5	----	----
23.	25,6	24,3	21,1	----	----
24.	27,1	----	19,2	14,9	16,4
25.	25,8	26,1	22,2	20,7	----

Tabelle 29 : Das Verhalten des aktuellen Bikarbonats unter Belastung bei 5 gesunden VP. (m Val/l)

Tabelle 30

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
26.	25,6	23,9	21,6	----
27.	29,1	----	25,6	----
28.	29,1	29,5	27,6	----
29.	32,2	31,1	----	----
30.	30,2	28,7	27,4	----
31.	27,1	22,5	20,7	----
32.	30,0	----	22,5	-----
33.	29,4	27,7	24,9	22,1
34.	24,3	24,8	22,5	----
35.	24,2	----	17,7	18,3
36.	29,1	----	26,6	24,3
37.	32,1	26,5	----	----
38.	24,4	----	19,5	----
39.	25,4	26,4	23,7	----
40.	27,1	----	23,4	----

Tabelle 30 : Das Verhalten des aktuellen Bikarbonats unter Belastung bei 15 Emphysematikern. (m Val/l)

Tabelle 31

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
51.	29,4	28,7	25,2	----
52.	27,8	27,5	25,2	----
53.	25,2	----	25,2	----
54.	27,7	----	24,3	----
55.	26,6	----	23,5	----
56.	27,8	----	24,1	23,9
57.	24,7	----	19,4	18,0
58.	27,6	----	21,7	----
59.	24,1	----	19,7	14,9
60.	24,6	----	21,6	----
61.	25,7	24,2	----	----
62.	26,6	25,2	----	----
63.	23,4	----	24,9	24,6
64.	30,1	28,6	27,9	----
65.	27,8	27,7	----	----
66.	28,6	25,2	24,5	----
67.	23,1	----	19,7	----
68.	27,9	----	20,6	----
69.	27,0	22,9	----	----
70.	24,7	----	22,4	----
71.	21,5	----	19,9	----
72.	25,3	----	21,2	----
73.	29,4	27,9	25,3	----
74.	28,8	----	26,3	----

Tabelle 31 : Das Verhalten des aktuellen Bikarbonats unter Belastung bei 24 Lungenfibrosen (m Val/l)

Tabelle 32

Nr.	Ruhe	30	60	90 (Watt)
76.	27,8	----	24,0	----
77.	29,9	27,1	24,4	----
78.	26,1	----	24,9	----
79.	28,6	----	28,3	----
80.	27,1	26,2	----	----
81.	28,4	28,4	----	----
82.	25,7	----	23,8	----
83.	24,6	----	18,6	----
84.	26,5	20,0	----	----
85.	26,2	25,9	20,5	----
86.	24,9	----	21,9	----
87.	22,3	21,1	----	----
88.	28,7	24,5	20,6	----
89.	19,3	----	26,0	----
90.	23,5	20,6	----	----
91.	23,8	----	19,8	----
92.	25,7	26,0	23,5	18,0

Tabelle 32 : Das Verhalten des aktuellen Bikarbonats unter Belastung bei 17 Vitien (m Val/l)

E. Diskussion der Untersuchungsergebnisse und Vergleich mit Ergebnissen in der Literatur.

1. Ruhespirographie

Forcierte Atemleistungen, wie Vitalkapazität, Atemstoß und Atemgrenzwert gehören zum Minimalprogramm einer Lungenfunktionsprüfung (Marx) . Sollwerte und ihre Veränderungen bei obstruktiven und restriktiven Lungenerkrankungen sind hinreichend bekannt (Fruhmann, Felder, Marx, Bartels u. Mit.), so daß im Rahmen dieser Arbeit neue Erkenntnisse nicht zu erwarten waren. Es fand sich eine Einschränkung der forcierten Atemleistungen bei den Emphysematikern und den Lungenfibrosen, teilweise auch bei den Vitien, wobei unter den Emphysematikern die Verminderung der exspiratorischen Reserve im Vordergrund stand. Zeitquotient und Atemstoß lagen auch bei den gesunden Versuchspersonen zum Teil außerhalb des Sollbereiches.

Die Frage, ob eine Beziehung zwischen den Spirographischen Meßwerten und der geleisteten Arbeit besteht, muß nach den Ergebnissen dieser Arbeit verneint werden. Bei Gegenüberstellung der Vitalkapazität und des Atemstoßes zu der maximalen Sauerstoffaufnahme als Maß der geleisteten Arbeit ließ sich nur teilweise ein angedeuteter Zusammenhang zwischen den genannten Größen finden. (Siehe Abbildungen 1 und 2 !) Daraus ist zu schließen, daß eine Beurteilung der Lungenfunktion und der körperlichen Leistungsfähigkeit allein aus dem Ruhespirogramm nicht ausreichend ist. Marx empfiehlt aus diesem Grund bei einer Lungenfunktionsprüfung die Erweiterung des "Minimalprogramms" um die stufenweise ansteigende Ergometrie zum "Normalprogramm".

Auch Pasargiklian u. Mit. messen der Ruhespirographie nur beschränkten Aussagewert zu.

Anders liegen die Verhältnisse, wenn man die Atemgrenzwerte den erreichten maximalen Atemminutenvolumina gegenüberstellt, wie das in den Abbildungen 3 und 4 geschehen ist. Unter der Voraussetzung, daß man den Atemgrenzwert annähernd genau bestimmt hat, wird ein Proband dann seine Leistungsgrenze erreicht haben, wenn sich das Arbeitsatemminutenvolumen dem Atemgrenzwert nähert. Dieses Verhalten zeigte die Mehrzahl der untersuchten Emphysematiker. Weniger häufig wurde diese Beobachtung bei den Fibrosen und Vitien gemacht. Es bietet sich somit ein Vergleich des Atemgrenzwertes mit dem maximalen Atemminutenvolumen als ebenso einfaches wie exaktes Kriterium der absoluten Leistungsgrenze an. Es ist sinnlos und unmöglich, über diesen Punkt hinaus eine weitere Belastung anzuschliessen, da der betreffende Proband seine Ventilation nicht zu steigern vermag.

Man muß sich aber hierbei vor Augen halten, daß diese Methode nichts darüber aussagt, ob die geleistete Arbeit noch im steady state stattgefunden hat. Viel eher ist anzunehmen, daß der Proband schon in maximalen Bereichen gearbeitet hat. Es wird auf dieses Problem bei der Besprechung der Blutgase (siehe unten !) noch eingegangen werden.

2. Belastungsuntersuchungen

a) Das Atemminutenvolumen :

Die Leistungskriterien Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Atemäquivalent sollten in dieser Arbeit an einem grösseren Untersuchungsgut lediglich nochmals überprüft werden, da

diese drei Kriterien von Zühlke (Diss. 1965) eingehend beleuchtet worden sind.

Das Atemminutenvolumen unter Belastung kann als Leistungskriterium herangezogen werden, wenn man die Werte auf Normaltabellen bezieht (Marx) . Die in der Literatur angegebenen Mittelwerte beziehen sich aber teilweise auf andere Spirographen, Ergometer und Wattstufen als die hier angewandten. Für das Untersuchungsverfahren dieser Arbeit vergleichbare Werte fanden sich bei Marx u. Mit., Bolt u. Mit., Valentin u. Mit. u. Zühlke.

Zühlke hat darauf hingewiesen, daß sich aus der isolierten Betrachtung des AMV kein Anhalt für das Ausmaß einer vorhandenen Lungenschädigung bietet, da die Werte einmal in einem sehr großen Streubereich liegen und zum anderen keine signifikanten Unterschiede zwischen Gesunden und Kranken bestehen.

Es fand sich diesmal für die Emphysematiker ein signifikant höheres Ruheatemminutenvolumen als bei den übrigen Untersuchungskollektiven. Dieses Phänomen trifft für die Hälfte aller Emphysemfälle zu (Marx) . Bei 60 Watt fand sich ein möglicherweise signifikant höheres Atemminutenvolumen bei den Emphysematikern und Fibrosen als bei den Gesunden, ein Verhalten, das sich bei 30 und 90 Watt nicht nachweisen ließ. Das Ergebnis zeigt die Neigung der beiden Patientengruppen zur Hyperventilation; ein Leistungskriterium läßt sich allerdings hieraus kaum ableiten, da sich auch unter den Gesunden zahlreiche Fälle nachweisen ließen, in denen das Arbeitsatemminutenvolumen erheblich über dem Normalwert lag, ohne daß man in der Lage wäre, hieraus eine respiratorische Insuffizienz abzulesen, denn diese Probanden

leisteten teilweise ohne Schwierigkeiten noch die höchsten Wattstufen.

Der bei Zühlke beschriebene steilere Anstieg des Atemminutenvolumens oberhalb einer bestimmten Wattstufe (Knipping u. Mit., Marx u. Mit., Reindell u. Kirchhoff) fand sich bei der Mehrzahl der gesunden Versuchspersonen bestätigt, bei den Patienten war dieses Verhalten nur vereinzelt zu sehen (siehe Abb. 5 - 8). Ein Leistungskriterium dürfte hierin aber wohl kaum zu erkennen sein, da die Mehrzahl der Patienten den Arbeitsversuch abbrach, ohne daß das Arbeitsatemminutenvolumen anders als linear angestiegen wäre.

Die gemessenen Atemminutenvolumina lagen auf den einzelnen Wattstufen erheblich höher als vergleichbare Werte in der Literatur (Marx u. Mit., Bolt u. Mit., Zühlke). Es ist deshalb notwendig, darauf hinzuweisen, daß jede Untersuchergruppe für das verwendete Ergometer und den Spirographen eigene Normwerte aufstellen muß.

b) Die Sauerstoffaufnahme

Unter ansteigender Belastung besteht zwischen Sauerstoffaufnahme und Wattstufe eine lineare Beziehung, die nach einigen Autoren bis in höchste Wattstufen reicht (Rossier bis 200 Watt, Astrand bis 400 Watt), andere Autoren geben eine Abflachung der Sauerstoffkurve in den höchsten Wattstufen an (Knipping u. Mit., Galetti u. Mit., Anthony, Zaeper). Die isolierte Betrachtung der Sauerstoffaufnahme ist als Leistungskriterium nur bedingt brauchbar, da auf den einzelnen Belastungsstufen keine signifikanten Unterschiede zwischen gesunden und herz- bzw. lungenkranken

Probanden bestehen (Zühlke). Zur Bestimmung der Leistungsgrenze kann die Sauerstoffaufnahme jedoch in den Fällen herangezogen werden, in denen die betreffende Versuchsperson unter stufenweiser Belastung ihre VO_2 auf einer Wattstufe gegenüber der vorhergehenden niedrigeren Stufe nicht oder nur unwesentlich steigern konnte, also an dem Punkt, wo eine abrupte Abflachung der O_2- Kurve auftritt. An dieser Stelle muß aber auf einen wichtigen methodischen Fehler hingewiesen werden : Es kann sich unter Belastung die Atemmaske verschieben und undicht werden, besonders dann, wenn sich die betreffende Versuchsperson sehr anstrengt und den ganzen Körper bewegt. Wenn die Maske nicht mehr dicht schließt, wird sich aber auch der aufgezeichnete VO_2 - Wert verfälschen und niedriger erscheinen als es den wahren Gegebenheiten entspricht. Es ist deshalb in den Fällen, in denen die Sauerstoffaufnahme nicht gesteigert werden kann, notwendig, diese Belastungsstufe zu wiederholen. Unter den 96 Versuchspersonen dieser Arbeit fand sich nur ein Fall, in dem die VO_2 überhaupt nicht gesteigert wurde (VP 96) und eine Undichtigkeit der Maske ausgeschlossen werden konnte. Eine Abflachung der Sauerstoffaufnahmekurve in den höchsten Belastungsstufen wurde sowohl bei gesunden als auch bei kranken Versuchspersonen häufig beobachtet. (Siehe Abb. 9 - 12 !) Darüber hinaus wurde aber auch ein steilerer Anstieg der VO_2 - Kurve gesehen, nachdem es schon vorher zu einer Abflachung gekommen war.

Um eine Aussage machen zu können, ob eine Dauerleistungsgrenze oder die Leistungsgrenze überhaupt erreicht ist, wird man die Sauerstoffaufnahme somit nur in seltenen Fällen heranziehen können, zumal auch die Meßgenauigkeit der Einzelwerte

(methodisch bedingt) gering ist. Die Meßwerte dieser Arbeit für die Sauerstoffaufnahme liegen niedriger als die von Zühlke und anderen Untersuchern gefundenen Werte. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Kollektiven sind statistisch nicht signifikant.

c.) Das Atemäquivalent

Das Atemäquivalent ist von zahlreichen Autoren als bedeutsames Leistungskriterium bezeichnet worden (Knipping u. Mit., Kirchhoff u. Mit., Marx u. Mit.). Als Verhältnis von Atemminutenvolumen zur Sauerstoffaufnahme gibt es einen brauchbaren Einblick in die Ökonomie der Atmung, das heißt, das AÄ steigt an, wenn große Atemvolumina bewegt werden müssen, um die zur Sauerstoffversorgung der Peripherie notwendige Sauerstoffmenge aufnehmen zu können. Unter Belastung soll das Atemäquivalent zunächst unter den Ruhewert absinken, bei weiterer höherer Belastung aber wieder ansteigen und den Ruhewert überschreiten (Knipping u. Mit.). Grenzbereiche, über die das Atemäquivalent nicht ansteigen soll, werden von Knipping mit ca. 3,0 angegeben. Bei Kirchhoff u. Mit. ist die Leistungsgrenze schon dann überschritten, wenn Werte um 2,2 erreicht wurden. Marx hält erst Werte über 2,7 für unökonomische Atmung beweisend.

Die Tatsache, daß das Atemäquivalent unter Belastung zunächst abfällt und dann wieder ansteigt, fand sich in dieser Arbeit bestätigt, mit Ausnahme der Lungenfibrosen, bei denen von 25 VP 21 Probanden einen kontinuierlichen Anstieg vom Ruhewert aus aufwiesen.

Insgesamt liegen die gemessenen Werte - ausgenommen die Ruhewerte bei Fibrosen und Vitien - über den in der Literatur angegebenen Werten. Auch die von Zühlke gemessenen Werte liegen erheblich tiefer. Hohe Atemäquivalente in Ruhe fanden übrigens auch V. Kottova und Z. Vokac bei gesunden Kindern in einem Durchschnittsalter von 12 Jahren. Es soll zwischen 3,5 und 5,3 schwanken (zitiert nach V. Havel u. Mit.).

Bei der Bewertung des AÄ ist zu beachten, daß es sich um einen Rechenwert aus zwei Meßgrößen, deren Genauigkeit wie erwähnt gering ist, handelt. Es erscheint somit sinnvoller, bei der Bewertung des AÄ die Absolutwerte unberücksichtigt zu lassen und statt dessen die Auswertung darauf zu beschränken, ob bzw. wann das AÄ unter Belastung den Ruhewert übersteigt.

d.) Der Sauerstoffpartialdruck

Spirographische Meßwerte sind reine Ventilationsgrößen, die allenfalls die Pumpenfunktion der Lunge beurteilen, die Vorgänge am Erfolgsorgan, dem Blut, aber unberücksichtigt lassen (Hertz). Ob die Lunge ihrer Aufgabe gerecht wird, das Blut ausreichend zu arterialisieren, läßt sich nach Einführung der Mikromethode am Verhalten des Sauerstoffpartialdruckes ablesen.

Als Leistungskriterium unter Belastung wird neuerdings die Bestimmung des pO_2 im Ohrläppchenkapillarblut benutzt. Bei 212 Emphysematikern fand Hertz unter ansteigender Belastung 46 Fälle mit gleichbleibendem pO_2, 101 Fälle mit ansteigendem

pO_2 und 65 Fälle mit abfallendem pO_2. Ein Absinken wurde nur dann als gesichert angesehen, wenn die Differenz zum Ruhewert mindestens 4 Torr betrug. Als "respiratorische Leistungsgrenze", ausgedrückt in ml Sauerstoffaufnahme pro Minute, definiert Hertz den Punkt, an dem der pO_2 eben noch nicht absinkt. In seiner Mitteilung zeigt er aber auch die Problematik dieses Vorgehens auf :

1. Der pO_2 kann unter Belastung von pathologischen Werten auf Normalwerte ansteigen. In diesen Fällen verwertet er den unter Belastung erreichten pO_2 - Wert (etwa als Grundlage bei Gutachtenfällen).

2. Der pO_2 kann unter Belastung absinken, ohne daß man daraus auf eine Gasaustauschstörung schließen dürfte. Dies trifft für die Fälle zu, in denen nämlich in Ruhe hyperventiliert wurde und in denen die Atmung sich unter Belastung normalisiert. Hier wird sich dann aber in Ruhe ein sehr hoher pO_2 finden. Der pCO_2 wird entsprechend niedrig und das Atemäquivalent sehr hoch sein. Eindeutig ist die Situation bei den Versuchspersonen, die in Ruhe bereits einen pathologischen pO_2 haben und unter Belastung weiter absinken. Hertz weist außerdem darauf hin, daß der pO_2 abhängig von Alter, Tageszeit und Körperstellung ist und beträchtlichen Schwankungen unterliegt.

Hartung u. Mit. haben 25 gesunde Versuchspersonen spiroergometrisch untersucht und sahen unter fünfminütlich ansteigender Belastung entweder ein erhebliches Ansteigen des pO_2 oder ein Gleichbleiben. Nur in zwei Fällen kam es zu einem Abfall des pO_2 unter den Ruhewert. Ulmer und Mit. haben 88 VP verschiedener Altersklassen liegend mit 120 Watt belastet

und stellten bei den VP bis zu 50 Jahren einen leichten Abfall des pO_2, bei den VP über 50 Jahren einen geringen Anstieg fest. Bei diesen 88 VP ergab sich ein mittlerer pO_2 - Abfall von 2,4 Torr gegenüber dem Ruhewert. Bei 30 Personen, die im Sitzen mit 120 Watt belastet wurden, ergab sich ein mittlerer Anstieg von 86 auf 90 mm Hg. Klink u. Mit. sahen bei Gesunden einen Anstieg des pO_2 von etwa 16 Torr gegenüber dem Ruhewert nach einer Belastung zwischen 60 und 120 Watt. Julich hat 62 Versuchspersonen nur zwei Minuten lang mit etwa 50 Watt belastet. 4 von 18 Emphysematikern sowie Patienten mit Rechts - Links - Shunt zeigten einen Abfall des pO_2 unter Belastung. Bei Gesunden, den übrigen Emphysematikern sowie bei Patienten mit erworbenen Vitien stieg der pO_2 an. Friehoff hat 26 trainierte VP und 19 untrainierte VP auf einem Fahrradergometer mit durchschnittlich 90 Watt (untrainierte VP) und 150 Watt (trainierte VP) belastet und fand einen Abfall des pO_2 von etwa 6 mm Hg. Doll u. Mit. sahen unter Belastung einen geringen, statistisch gesicherten Abfall des pO_2 bei gesunden Versuchspersonen. Es wurde hierbei liegend mit Steigerung der Wattstufen bis zur Erschöpfung belastet. Valentin u. Mit. sahen bei 14 Silikosekranken mit und ohne Emphysem einen mittleren pO_2 - Abfall von 9,4 mm Hg. unter Fahrradergometerbelastung (10 - 16 mkg/sec). Einen geringen Anstieg des pO_2 unter Belastung sahen Podlesch und Mit. bei gesunden Versuchspersonen aller Altersklassen.

Die Brauchbarkeit des pO_2 als Leistungskriterium wurde bei unseren eigenen Messungen an 56 Patienten geprüft. Zum Vergleich liegen die Werte von 5 gesunden VP vor. Nach der Definition von Hertz erreichte keiner unserer gesunden Probanden die "respiratorische Leistungsgrenze", obwohl alle bis

zur Erschöpfung gearbeitet hatten. Alle VP zeigten noch einen kontinuierlichen Anstieg des pO_2, lediglich VP 24 ließ bei 150 Watt einen geringfügigen Abfall des pO_2 von 2 mm Hg gegenüber dem 120 - Watt - Wert erkennen. Bei den Emphysematikern sank nur der pO_2 der Versuchsperson 30 unter den Ruhewert ab. Es handelte sich bei diesem Patienten um einen 54 - jährigen Emphysematiker mit einer Vitalkapazität von 3100 ml, einem Atemstoß von 42 % der VK, einem Atemgrenzwert von 52,8 l und einer Residualluft von 36,7 % der Totalkapazität, pH in Ruhe 7,417, pO_2 86,5 und pCO_2 44,0 mm Hg, ein Patient also, der nach der Klassifizierung von Marx dem Stadium I zu zurechnen ist. Alle übrigen Emphysematiker zeigten noch keinen Abfall des pO_2, brachen die Arbeit aber ab, weil sie nach eigenen Angaben am Ende des Leistungsvermögens angelangt waren. Besonders auffällig war in diesem Zusammenhang, daß auch Emphysematiker in fortgeschritteneren Stadien ihren Sauerstoffpartialdruck noch steigern konnten. Bei 24 Fibrosen fanden sich nur 2 VP, deren pO_2 unter Belastung um mehr als 4 mm Hg unter den Ruhewert absank. Bei den 17 Vitien waren es 4 VP, auf die man die Hertzsche Definition der "respiratorischen Leistungsgrenze" anwenden kann. Es handelte sich bei diesen Patienten um die VP 76, 80, 85, 86 mit folgenden Diagnosen (in der Reihenfolge): Aortenstenose und Hypertonie, Mitralstenose II, Eisenmenger Komplex, Mitralstenose II - III.

Es fanden sich somit unter 56 Patienten nur insgesamt 7 VP, für die der Abfall des pO_2 als Leistungskriterium herangezogen werden konnte. Das sind 12,5 % der untersuchten Probanden. Hertz fand ein Absinken des pO_2 bei 212 Emphysematiker in 30% aller Fälle.

Bei 7 Versuchspersonen wurde also die "respiratorische Leistungsgrenze" aufgedeckt, der Punkt, an dem der Gasaustausch in der Lunge unzureichend wird. Diese Methode ist als objektives Leistungskriterium somit bedingt brauchbar. Es erklärt aber nicht, warum die anderen Versuchspersonen den Versuch abbrechen mußten, ohne dieses Insuffizienzzeichen aufzuweisen. Es liegt in dieser Methode weiterhin auch kein Hinweis, ob an dem Punkt, an dem die Leistungsgrenze erreicht wurde, noch ein steady state gewährleistet war. Es ist somit zu sagen, daß der Abfall des pO_2 unter Belastung ein gutes, aber kein alleingültiges Kriterium ist, daß es vielmehr noch andere Gründe sein müssen, die einen Patienten zum Versuchsabbruch zwingen.

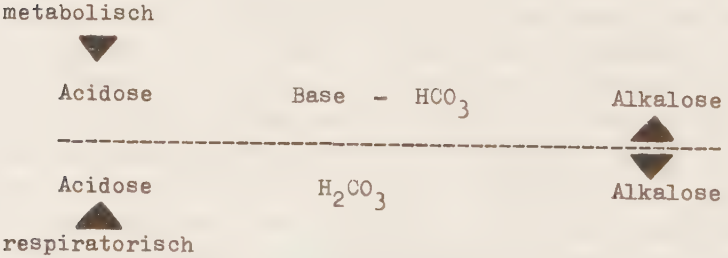
Unsere Beobachtung, daß der pO_2 unter Belastung in der Regel ansteigt (siehe Abb. 9 - 12 !), steht in Einklang mit den Untersuchungen von Hartung u. Mit., Klink u. Mit., Julich und Podlesch. Die pO_2 - Anstiege schwanken zwischen einigen Torr, es wurden jedoch auch Anstiege bis 20 Torr beobachtet (siehe Tabellen 17 - 20 !)

Die Untersuchungen von Friehoff, Doll u. Mit., Valentin u. Mit., nach denen ein Absinken des pO_2 unter Belastung die Regel ist, fanden sich nicht bestätigt.

e. Der Kohlensäurepartialdruck

Der pCO_2 bleibt unter physiologischen Bedingungen der Körperflüssigkeiten auffallend konstant (Lawin u. Mit.). Die im Zellstoffwechsel anfallenden sauren Endprodukte werden zunächst im Blut durch ein komplexes Pffersystem abgepuffert

und dann ausgeschieden. Als Ausscheidungsorgane kommen die Lungen und die Nieren in Frage (Lawin, Markees). In der Lunge wird die anfallende Kohlensäure unter normalen Bedingungen bis zu einem bestimmten Kohlensäurepartialdruck abgeraucht. Bei Bedarf kann die Abrauchung verstärkt oder vermindert werden, um einer Über- oder Untersäuerung entgegenzuwirken. Wenn dieser Mechanismus infolge einer Gasaustauschstörung versagt, kommt es zu einer Anhäufung der Kohlensäure im Blut, es resultiert eine respiratorische Acidose, der die metabolische Acidose gegenübergestellt ist. Umgekehrt gibt es auch die respiratorische und metabolische Alkalose. Die Funktionsabläufe haben Lawin u. Mit. am Verhältnis Bikarbonat - Kohlensäure so dargestellt :



Bei respiratorischen Störungen kommt es zu Veränderungen des Nenners, bei metabolischen Stoffwechselstörungen wird sich der Zähler ändern.

Daraus geht hervor, daß sich bei primär respiratorischen Störungen der pCO_2 im Blut ändern wird. So findet sich bei Emphysematikern im Stadium der chronischen alveolären Hypoventilation ein erhöhter Kohlensäurepartialdruck (Rossier, Bühlmann, Julich) .

Wenn die anfallende Kohlensäure nicht abgeraucht werden kann, ist dies als leistungsbegrenzender Faktor anzusehen. Werden unter ansteigender Belastung pCO_2 - Werte über 45 mm Hg beobachtet, ist die geforderte Leistung als Dauerleistung unzumutbar (Felder).

Das Verhalten des pCO_2 unter Belastung ist von zahlreichen Autoren untersucht worden : Hartung u. Mit. beobachteten bei 15 von 16 gesunden Versuchspersonen unter Belastung einen deutlichen Abfall des pCO_2. Bei einer VP stieg der pCO_2 um 7 mm Hg an. Valentin u. Mit. sahen bei 14 Silikosekranken mit oder ohne Emphysem in drei Fällen einen Anstieg des pCO_2, sonst ein Absinken oder gleichbleibende Werte. Ulmer u. Mit. sahen bei 88 VP einen geringen mittleren Anstieg des pCO_2 von 37,7 auf 39,4 mm Hg. Doll u- Mit. beobachteten bei 20 gesunden Männern einen geringen, statistisch nicht signifikanten Abfall des pCO_2. Ein geringer Anstieg wurde von Friehoff sowie Podlesch u. Mit. beschrieben. Über einen deutlichen Abfall des pCO_2 unter Belastung berichten Mährlein u. Mit.

Ein gleichsinniges Verhalten des pCO_2 unter Belastung konnte in dieser Arbeit nicht nachgewiesen werden. Der pCO_2 kann ansteigen, abfallen oder gleichbleiben. In der Regel sind die Schwankungen sehr gering. Die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen sowie zwischen Anstieg und Abfall auf den einzelnen Belastungsstufen sind statistisch nicht signifikant. (Siehe Abb. 5 - 8 und Tabellen 21 - 24 !)

Ein Anstieg des pCO_2 über 45 mm Hg wurde bei zwei Emphysematikern (VP 29, 33) und zwei Patienten mit Lungenfibrose (VP 73, 74) beobachtet. Für diese Patienten wäre also die geforderte Leistung von 30 bzw. 60 Watt als

Dauerleistung unzumutbar gewesen. (Felder). Mit Ausnahme der VP 73, deren pO_2 konstant blieb, konnten die genannten Patienten ihren Sauerstoffpartialdruck unter Belastung noch steigern, erreichten also die "respiratorische Leistungsgrenze" (Hertz) nicht. Bezieht man jedoch in die Betrachtung noch den pH - Wert und das Bikarbonat ein und beurteilt die Stoffwechselsituation nach dem oben erwähnten Diagramm von Felder, so kommt man zu folgendem Ergebnis : VP 29 läßt am Ende der Belastung eine kompensierte respiratorische Acidose erkennen, bei VP 33 ist eine respiratorische plus metabolische Acidose nachzuweisen und die beiden Patienten mit Lungenfibrose zeigen eine nicht kompensierte respiratorische Acidose.

Die unter Belastung entstandene Stoffwechselsituation bei den übrigen Probanden ist in Teil D 7 ausführlich dargestellt.

Als Leistungskriterium ist der pCO_2 der Messung des pO_2 in gewisser Hinsicht überlegen, da er bei gleichzeitiger Messung des pH - Wertes einen sehr genauen Einblick in die Verschiebungen des Säure - Basen - Gleichgewichtes gestattet. Dabei interessieren besonders Verschiebungen in Richtung einer Acidose. Eine Leistung ist dann als unzumutbar abzubrechen, wenn sich eine respiratorische oder metabolische Acidose einstellt (Felder). Dabei spielt es keine Rolle, welcher Art die Acidose ist oder ob sie teilweise kompensiert ist. Auf jeden Fall wird damit ausgesagt, daß die Kompensationsmechanismen nicht ausreichen und die geleistete Arbeit nicht mehr im steady state stattfindet. Eine Alkalose ist unbedenklich, da sie vom Organismus besser vertragen wird (Markees) .

f.) Der pH - Wert

Spiroergometrische Untersuchungen sind unbrauchbar, wenn sie nicht im steady state (Stoffwechselgleichgewicht) stattfinden (Marx). Da es nach den Untersuchungen von Abelin und Scherrer, Friehoff, Bühlmann u. Mit. schon in mittleren Belastungsstufen zu einer metabolischen Acidose kommt, verwenden Reindell u. Mit. den Begriff "relatives steady state", der dann Gültigkeit hat, wenn nach 6 Minuten Arbeit auf einer Wattstufe während einer Zeit von 3 Minuten Puls und Sauerstoffaufnahme konstant bleiben. Mellerowicz u. Mit. haben hierfür den Begriff der "Ergostase" geprägt. Einem echten steady state entsprechen diese Begriffe aber nicht.

Schon lange ist bekannt, daß sich unter Arbeitsbelastung im Blut nichtflüchtige Säuren, insbesondere Milchsäure, anhäufen und eine metabolische Acidose verursachen. Das Auftreten der Milchsäure ist Ausdruck dafür, daß die Muskulatur anaerobe Arbeit leistet, bzw. daß die angelieferten Sauerstoffmengen nicht dem Bedarf entsprechen. Bainbridge konnte als erster nachweisen, daß der Milchsäuregehalt des Blutes unter Belastung bei Sauerstoffmangel stärker ansteigt. Er führte seine Untersuchungen einmal auf Meereshöhe und danach in einer Höhe von 4000 m durch (zitiert nach Rein). Die Milchsäurekonzentration des Blutes ist der Indikator für eine eingegangene Sauerstoffschuld der Muskulatur und wächst linear mit der zunehmenden Sauerstoffschuld (Rein). Huckabee hat aber darauf hingewiesen, daß das Verhalten der Milchsäure zur Beurteilung der Anaerobiose des Muskels nicht ausreicht, da vielmehr auf den Quotienten Laktat/Pyruvat

Wert zu legen sei. Für die Fälle, in denen sich dieser Quotient unter Belastung vergrößert, hat er den Begriff "excess lactate" eingeführt. Die Bestimmung des excess lactate ist einigermaßen umständlich. Einen besseren Einblick in das Ausmaß der unter Belastung entstandenen Acidose gewinnt man durch die Beobachtung des pH - Wertes, da man hierdurch global alle sauren Stoffwechselprodukte erfaßt. Nachdem Astrup seine Mikromethode zu pH - Messung aus dem Ohrläppchenkapillarblut entwickelt hat, ist die Messung dieser Größe ebenso einfach wie exakt durchführbar.

Allgemein ist der pH - Wert offenbar eine übergeordnete Regelgröße, "deren Konstanterhaltung notfalls mit erheblichen Änderungen der Ventilation und des Bikarbonatbestandes erkauft wird". (Herberg und Geisler).
Zur Kompensation der metabolischen Acidose stehen dem Körper verschiedene Mechanismen zur Verfügung :

1. die Extraktion der Milchsäure aus dem Blut und nachfolgend Metabolisation in Herzmuskel und Leber,

2. Steigerung der Ventilation und dadurch vermehrte CO_2 - Abrauchung,

3. die Abgabe von Wasserstoffionen in der Niere.

Diesen Kompensationsvorgängen sind aber deutliche Grenzen gesetzt : Die CO_2 - Abrauchung kann nicht unbeschränkt ablaufen, da ein bestimmter Kohlensäurepartialdruck als wichtigster Atemantrieb aufrecht erhalten werden muß (Rein). Die Regulationsmechanismen der Niere setzen relativ spät ein und die Aufnahmekapazität von Herzmuskel und Leber für

Milchsäure ist offenbar begrenzt.

So zeigt das Absinken des pH - Wertes unter Belastung also zweierlei :

1. die Muskulatur geht eine Sauerstoffschuld ein und leistet anaerobe Arbeit,

2. die Kompensationsmechanismen zur Konstanterhaltung des inneren Milieus reichen nicht mehr aus. Damit ist die Untersuchungsbedingung eines steady state nicht mehr erfüllt. Das Stoffwechselgleichgewicht ist verlorengegangen und die Dauerleistungsgrenze ist überschritten. (Marx).

Bei den Untersuchungen dieser Arbeit zeigten die gesunden Versuchspersonen bis 60 Watt keinen nennenswerten Abfall des pH - Wertes, während die Emphysematiker, Lungenfibrosen und Vitien eine stark signifikante Verschiebung zum Sauren aufwiesen. Die gesunden VP erreichten bei 90 Watt als niedrigsten Wert 7,337, der pH - Wert der Patienten jedoch sank auf dieser Wattstufe auf eindeutig pathologische Werte.

Der pH - Abfall bei 150 Watt unter den gesunden VP liegt erheblich über dem nach Friehoff mit maximal 0,04 pH - Einheiten zu erwartenden Abfall. Die Ergebnisse entsprechen eher den Untersuchungen von Mährlein u. Mit. Hartung u. Mit. sahen bei gesunden VP ein uncharakteristisches pH - Verhalten. Diese Angabe fand sich nicht bestätigt.

Offenbar gewinnt die anaerobe Kapazität während einer Belastung dann die Oberhand, wenn der pH - Wert unter Belastung um mehr als 0,05 pH - Einheiten absinkt (siehe

Abb. 17 !). Die Abbildung zeigt, daß die Patienten bei 60 Watt bereits pH - Werte erreichen, die dem mittleren pH - Wert der gesunden VP bei 90 Watt entsprechen. In dem schraffierten Bereich zeigen die gesunden VP nur eine unwesentliche Verschiebung zum Sauren, während die Patienten bereits eine signifikante Säuerung erkennen lassen. Die Differenz zwischen Ruhe - Normalwert und der ersten signifikanten pH - Verschiebung beträgt nach dem Diagramm aber 0,05 pH - Einheiten.

Da dieser Wert einen reinen Rechenwert darstellt, muß bei Betrachung der einzelnen Versuchspersonen auch der gemittelte Ruhe - Normwert zugrunde gelegt werden. Er beträgt nach den Untersuchungen dieser Arbeit 7,421 $\pm$ 0,014. Eine Versuchsperson, die in Ruhe hyperventiliert und daher einen hohen pH - Wert hat, wird bei Normalisierung der Atmung unter Belastung natürlich auch einen erheblichen Abfall des pH - Wertes aufweisen, ohne daß eine Verschiebung in saure Bereiche auftritt.

Von insgesamt 71 kranken VP zeigten 30 VP am Ende der letzten Wattstufe die beschriebene pH - Verschiebung um 0,05 pH -Einheiten oder mehr.

Kubicek, der an 144 Fällen das Verhalten des Basendefizits unter Belastung verfolgt hat, macht die vorsichtige Aussage, daß die anaerobe Arbeit dann in den Vordergrund tritt, wenn der Basendefizitwert über 5 mÄq./l ansteigt.
(Basendefizit ist der negative Wert des Basenüberschusses, der von Siggaard - Andersen als titrierbare Base beim Titrieren auf einem pH von 7,40 und einem pCO_2 von 40,0 Torr definiert wurde. Beim Anstieg nichtflüchtiger Säuren im Blut sinkt der meßbare Wert des Basenüberschusses.)

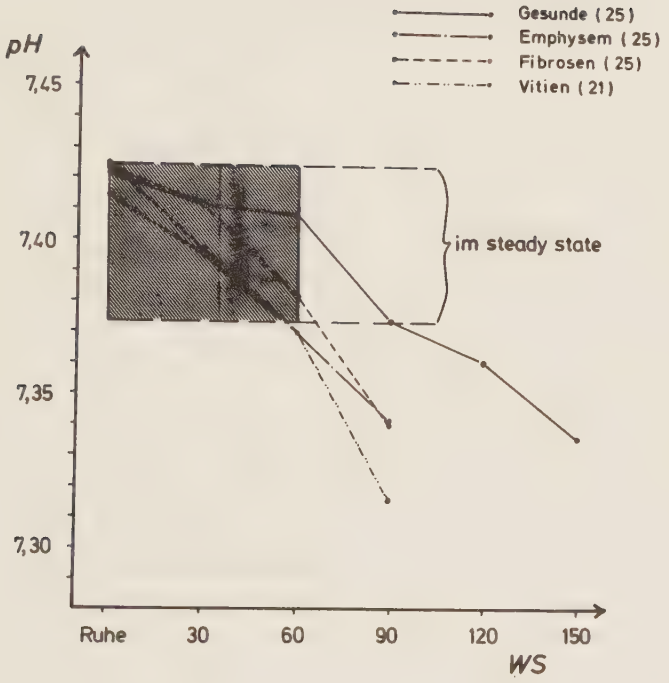


Abbildung 17 : Gegenüberstellung des pH - Verhaltens der einzelnen Untersuchungskollektive. Innerhalb des schraffierten Feldes ist ein steady state noch gewahrt, außerhalb dieses Bereiches kommt es mit steigender Belastung zu signifikanten Verschiebungen des pH - Wertes zum Sauren.

Die hier beobachtete frühzeitige und erhebliche Verschiebung des pH - Wertes in saure Bereiche bei den kranken Versuchspersonen darf aber nicht als alleiniges Kriterium einer Leistungsgrenze im Sinne einer pulmonalen Insuffizienz oder eines verminderten Herzminutenvolumens (bei den Vitien) angesehen werden, sie zeigt primär nichts anderes an als eine vermehrte Anaerobiose. Diese ist aber von zahlreichen Faktoren der peripheren Durchblutung (Rein) und damit auch vom Übungszustand der Muskulatur abhängig, so daß ein vorzeitiges und verstärktes Absinken des pH - Wertes unter Belastung in erster Linie ein Kriterium der vorzeitigen Ermüdung der Muskulatur ist. Weitergehende Schlüsse kann man aus dem Absinken des pH - Wertes erst dann ziehen, wenn man in die Betrachtung die anderen ergometrischen Kriterien einbezieht, insbesondere pO_2 und pCO_2. Ergibt sich allerdings aus dem Spektrum dieser Kriterien der Hinweis, daß eine metabolische oder respiratorische Acidose entstanden ist und somit ein echtes steady state verlorenging, oder daß der pO_2 um mehr als 4 mm Hg unter den Ruhewert abgesunken ist, so ist anzunehmen, daß die Dauerleistungsgrenze überschritten wurde und die entsprechende Wattstufe als Dauerleistung unzumutbar ist.

Im übrigen hat sich nicht nachweisen lassen, daß der pH - Wert in der Anlaufphase bis zu einem bestimmten Punkt abfällt und dann bis zum Ende der jeweiligen Wattstufe konstant bleibt und somit ein steady state doch gewahrt ist. Vielmehr zeigten Messungen in der 2., 4. u. 6. Minute der Belastung, daß der pH - Wert kontinuierlich abfällt. Die Brauchbarkeit der hier diskutierten Leistungskriterien soll im Folgenden an fünf Fällen demonstriert werden :

1. VP 37 Patient Kl. K. 46 Jahre

Diagnose: chron. obstruktives Lungenemphysem

Ruhespirogramm : AMV 7,0 l, VO_2 317 ml, ZQ 2,2 , VK 1100 ml, AST 300 ml = 27,2 % der VK AGW 16,0 l, Residualvolumen 74 % der Totalkapazität.

Der Patient wurde danach mit 30 Watt belastet.

	pH	pO_2	pCO_2	AMV	VO_2	AÄ
		(mm Hg)		(l BTPS)	(ml STPD)	
Ruhe	7,330	33,6	58,3	7,0	317	2,2
30 Watt	7,273	34,7	54,8	12,7	724	1,7

Der Patient weist eine erhebliche Einschränkung der forcierten Atemleistungen auf. pH - Wert, pO_2 und pCO_2 sind in Ruhe pathologisch verändert. Unter leichter Belastung sinkt zwar der pCO_2 mäßig ab und der pO_2 steigt leicht an, der pH - Wert sinkt aber weiterhin in den pathologischen Bereich ab. AMV und VO_2 befinden sich im Normbereich. Aus dem pH - Wert und dem pCO_2 läßt sich der Zustand einer nicht kompensierten respiratorischen Acidose ablesen. Die geforderte Leistung von 30 Watt war somit als Dauerleistung unzumutbar.

2. VP 73 Patient Dö. H. 42 Jahre

Diagnose: Morbus Boeck mit Lungenfibrose

Ruhespirogramm : AMV 10,8 l, VO_2 320 ml, ZQ 1,3 , VK 2100 ml, AST 1350 = 64,1 % der VK, AGW 57,6 l.

Belastung mit 30 Watt :

	pH	pO_2	pCO_2	AMV	VO_2	AÄ
		(mm Hg)		(1 BTPS)	(ml STPD)	
Ruhe	7,385	78,6	47,0	10,8	320	3,4
30 Watt	7,338	72,0	50,0	38,1	1010	3,8

Der Patient zeigt eine Hyperventilation in Ruhe und unter Belastung, die forcierten Atemleistungen sind eingeschränkt. Bei mäßiger Belastung sinkt der pH - Wert und der pO_2 deutlich ab, der pCO_2 steigt an. Sauerstoffaufnahme im Normbereich. Am Ende der Belastung ist eine nicht kompensierte respiratorische Acidose entstanden.

3. VP 74 Patient Kl. K. 55 Jahre

Diagnose : Morbus Boeck mit Lungenfibrose

Ruhespirogramm : AMV 5,5 l, VO_2 181 ml, ZQ 1,8 , VK 2950 ml, AST 1150 ml = 39,0 % der VK, AGW 34,58 l.

Belastung mit 60 Watt :

	pH	pO_2	pCO_2	AMV	VO_2	AÄ
		(mm Hg)		(1 BTPS)	(ml STPD)	
Ruhe	7,418	71,0	43,0	5,5	181	3,0
60 Watt	7,352	80,8	46,5	26,1	1082	2,4

VP 74 läßt ebenfalls eine Einschränkung der ruhespirographischen Meßwerte erkennen. Bei Belastung steigt der pO_2 hier allerdings an, pH - Wert und pCO_2 verändern sich wie bei

VP 73 jedoch zum Pathologischen. Bei beiden Versuchspersonen ist am Ende der Belastung eine nicht kompensierte respiratorische Acidose entstanden, ein Zeichen, daß die gewählten Wattstufen als Dauerleistung nicht mehr zumutbar waren.

4. VP 85 Patient Ma. D. 26 Jahre

Diagnose : Eisenmenger - Komplex

Ruhespirogramm : AMV 6,2 l, VO_2 290 ml, ZQ 1,4 , VK 3600 ml, AST 1900 ml = 53,0 % der VK, AGW 58,8

Der Patient wurde zunächst mit 30 und nach einer längeren' Ruhepause mit 60 Watt belastet :

	pH	pO_2	pCO_2	AMV	VO_2	AÄ
		(mm Hg)		(l BTPS)	(ml STPD)	
Ruhe	7,385	74,8	42,0	6,2	290	2,1
30 Watt	7,370	61,8	43,0	25,0	862	2,9
60 Watt	7,257	54,1	44,0	38,6	1360	2,8

Die ruhespirographischen Meßwerte des Patienten liegen außerhalb des Normbereichs, der pO_2 ist deutlich erniedrigt, pH - Wert und pCO_2 liegen an der Grenze der Norm. Nach einer Belastung von 30 Watt ist der pO_2 um 13 mm Hg abgesunken, pH - Wert und pCO_2 lassen eine noch kompensierte respiratorische Acidose erkennen. Bei 60 Watt ist der pO_2 noch weiter abgesunken (20 mm Hg gegenüber dem Ruhewert !), zu der respiratorischen Acidose hat sich nun noch eine metabolische Acidose hinzugesellt. Damit zeigt sich, daß die letzte Wattstufe bereits unnötig war, da der Patientseine Leistungsgrenze schon bei 30 Watt erreicht hatte.

5. VP 86 Patient Ka. K. 22 Jahre

Diagnose : Mitralstenose II - III

Ruhespirogramm : AMV 8,4 l, VO_2 268 ml, ZQ 1,7 , VK 3000 ml, AST 1400 ml = 46,5 % der VK, AGW 48,0 l.

Belastung mit 60 Watt :

	pH	pO_2	pCO_2	AMV	VO_2	AÄ
		(mm Hg)		(l BTPS)	(ml STPD)	
Ruhe	7,401	83,5	38,5	8,4	268	3,1
60 Watt	7,280	73,8	42,5	42,0	1140	3,7

Die forcierten Atemleistungen sind deutlich eingeschränkt, pH - Wert und pCO_2 liegen im Normbereich, pO_2 an der unteren Grenze der Norm. Unter der Belastung sinken pH - Wert und pO_2 in pathologische Bereiche, der pCO_2 steigt an. Es ist eine respiratorische und metabolische Acidose entstanden. Die gewählte Wattstufe lag damit über der dem Patienten zumutbaren Leistung.

Die Beispiele zeigen, daß man mit Hilfe der Meßgrößen pH - Wert, pO_2 und pCO_2 schon in niedrigen Wattstufen die Dauerleistungsgrenze (Marx) ermitteln kann und damit den Leistungsbereich, der einem Patienten als Dauerleistung unbedenklich zugemutet werden kann. Dabei sind in die Beurteilung auch die Kriterien Atemgrenzwert, Atemminutenvolumen und Sauerstoffaufnahme (und als Rechengröße Atemäquivalent) aufzunehmen, obwohl ihnen als Einzelkriterium für die Belastungsfähigkeit nur untergeordnete Bedeutung zukommt. In den oben beschriebenen fünf Fällen waren sie

wenig aufschlußreich, im Einzelfall werden sie mitunter aber doch einen Hinweis darauf geben können, weshalb ein Patient die von ihm geforderte Arbeitsleistung vorzeitig abbrechen mußte, auch wenn keines der anderen Leistungskriterien erkennbar wurde. Überhaupt sollte sich die Beurteilung der Leistungsfähigkeit eines Patienten nicht auf ein einziges Kriterium stützen, vielmehr müssen alle gewonnenen Ergebnisse im Zusammenhang gesehen werden.

F. Zusammenfassung

Aufgabe dieser Arbeit war es, durch Belastungsuntersuchungen auf niedrigen Wattstufen zu untersuchen, mit welchen Methoden man die Dauerleistungsgrenze, den Leistungsbereich also, in dem ein echtes Stoffwechselgleichgewicht verloren geht, objektiv und quantitativ erfassen kann, und ob in dem gewählten Leistungsbereich Aussagen über die Funktionstüchtigkeit des kardio - pulmonalen Systems möglich sind. Darüber hinaus war zu zeigen, inwieweit bei einem schonenden, den Patienten nicht zur Erschöpfung führenden Versuchsverfahren gebräuchliche spiroergometrische Kriterien zur Abschätzung der individuellen Leistungsfähigkeit herangezogen werden können. Neben der Anfertigung eines Ruhespirogramms und der Bestimmung der Atemgrößen Atemminutenvolumen, Sauerstoffaufnahme und Atemäquivalent wurden vor allem die Veränderungen des pH - Wertes, des Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdrucks unter Belastung gemessen. Das aktuelle Bikarbonat wurde nach der Henderson- Hasselbalchschen Gleichung berechnet.

Die Untersuchungen wurden an 25 gesunden Versuchspersonen, 25 Patienten mit respiratorischer Insuffizienz verschiedener Genese, zumeist Emphysematikern, 25 Patienten mit Boeck'scher Lungenfibrose und 21 Patienten mit angeborenen und erworbenen Herzfehlern vorgenommen. Das Untersuchungsverfahren ist in einem methodischen Teil dargestellt. Wir gelangten zu folgenden Ergebnissen :

1) Ruhespirographische Meßwerte sind nicht geeignet, die Leistungsfähigkeit eines Patienten quantitativ abzuschätzen. Sie zeigen lediglich, daß eine Ventilationseinschränkung vorliegt, wobei aus dem Bild des Ruhespirogramms häufig schon

der Charakter - obstruktiv oder restriktiv - der Atmungsbehinderung abzulesen ist.

2) Ein Patient hat dann seine absolute Leistungsgrenze erreicht, wenn sich das maximale Arbeitsatemminutenvolumen dem Atemgrenzwert annähert, bzw. ihn erreicht oder sogar überschreitet. Dieses Kriterium erklärt zwar manchmal, warum ein Proband den Arbeitsversuch vorzeitig abbrach, läßt aber nicht erkennen, ob noch ein Stoffwechselgleichgewicht bestand.

3) Das Atemminutenvolumen und die Sauerstoffaufnahme steigen unter Belastung linear an, wobei es auf den höchsten Belastungsstufen zu einer Abflachung der Sauerstoffaufnahmekurve kommen kann. Bei beiden Größen bestehen keine signifikanten Unterschiede zwischen Gesunden und Patienten. Als Kriterien der Dauerleistungsgrenze sind sie ungeeignet, da sie nichts über die jeweilige Stoffwechselsituation aussagen; der Vergleich mit Normwerttabellen ist problematisch, da auch bei gesunden VP häufig Werte außerhalb des Normalbereichs gefunden wurden.

4) In die Bestimmung des Atemäquivalents gehen die Fehler aus der Messung des AMV und der VO_2 ein, so daß die gefundenen Werte mit erheblicher Ungenauigkeit behaftet sind. Beim Verhalten des AÄ unter Belastung sollte man sich deshalb auf die Beobachtung beschränken, ob das ÄÄ über den Ruhewert ansteigt. Ein Anstieg des AÄ über den Ruhewert hinaus wurde sowohl bei Gesunden als auch bei Kranken beobachtet, mit den Verschiebungen im Säure - Basen - Haushalt ging diese Erscheinung aber nicht parallel.

5) Der Sauerstoffpartialdruck steigt bei Gesunden und Kranken in der Regel unter Belastung um mehrere Torr an. Nur bei 12,5 % der untersuchten Patienten fand sich ein Abfall des pO_2 um mehr als 4 Torr unter den Ruhewert. Bei gleichzeitiger Beobachtung des Säure - Basen - Gleichgewichts zeigt ein Absinken des pO_2, daß die Dauerleistungsgrenze überschritten ist.

6) Sowohl bei Gesunden als auch bei Kranken sinkt der pH - Wert unter Belastung ab, wobei sich die pH - Verschiebungen bei den kranken Versuchspersonen als stark signifikant höher erweisen als bei gesunden VP. Offenbar geht ein Stoffwechselgleichgewicht dann verloren, wenn der pH - Wert um mehr als 0,05 pH - Einheiten unter den Ruhewert absinkt. Die bei den Patienten beobachtete früher eintretende und stärkere Säuerung wird als Ausdruck einer Minderdurchblutung der Peripherie und als Übungsmangel interpretiert, in einigen Fällen ließen sich pulmonale Ursachen nachweisen.

7) Der pCO_2 kann unter Belastung ansteigen, absinken oder gleichbleiben, wobei die Schwankungen gering zu sein pflegen. Lediglich bei 4 Patienten wurde ein Anstieg des pCO_2 über 45 mm Hg beobachtet und als Kriterium dafür gewertet, daß die Dauerleistungsgrenze überschritten war. Darüber hinaus erlaubt aber die Messung des pCO_2 zusammen mit dem pH - Wert die Berechnung des aktuellen Bikarbonats. Mit diesen drei Größen gewinnt man einen sehr genauen Einblick in die bei Belastung entstandene Stoffwechselsituation und kann entscheiden, ob die geforderte Leistung noch im steady state stattgefunden hat oder ob die Dauerleistungsgrenze bereits überschritten wurde.

8) Der Fragestellung dieser Arbeit entsprechend sind somit pO_2, pCO_2 und pH - Wert brauchbare und objektive Kriterien; spirographische Meßgrößen sind in niedrigen Belastungsbereichen nur im Zusammenhang mit den genannten Werten verwendbar.

G. Literaturverzeichnis

1. Abelin, Th., M. Scherrer

Untersuchungen am Metabographen von Fleisch mit fortlaufender arterieller Blutgasanalyse

Schweiz. med. Wschr. 90, 369 (1960)

2. Albrecht, H., H. Valentin, H. Venrath

Über die Atmung und das Herzminutenvolumen bei Arbeit und Sport, sowie die Herzleistung

Zschr. f. d. ges. exp. Medizin Bd. 122 S. 356-368 (1953)

3. Andersen, O. S., K. Engel, K. Jorgensen, P. Astrup

Ein Mikroverfahren zur Bestimmung des pH, pCO_2, Basenüberschusses und Standard - Bikarbonats im Kapillarblut

Radiometer - Sonderdruck T AS 6

4. Anthony, A. J.

Funktionsprüfung der Atmung

J. A. Barth Leipzig 1937

5. Astrand, P. O., B. Saltin

Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise

J. appl. Physiol. 16, 971-976 (1961)

6. Astrup, P.

Erkennung der Störungen des Säure/Base-Stoffwechsels und ihre klin. Bedeutung

Klin. Wschr. 35. Jhg. 749-753 (1957)

7. Astrup, P., O.S. Andersen, K. Jorgensen, K. Engel

The acid - base metabolism
A new approach

The Lancet pp. 1035-1039 (1960)

8. Astrup, P.

A new approach to acid-base metabolism

Clin. Chemistry Vol. 7 Nr. 1 (1961)

9. Bartels, H., E. Bücherl et al.

Lungenfunktionsprüfungen

Berlin - Göttingen - Heidelberg 1959

10. Beverungen, W., E. Vreden

Vergleichende spirographische, blutgasanalytische, elektrokardiographische und röntgenologische Befunde bei Lungenkranken mit Lungenemphysem

Praxis d. Pneumologie 20. Jhg. Heft 9 (1966)

11. Bolt, W., J. Kann, H. Valentin, H. Venrath

Vergleichende Untersuchungen gebräuchlicher Herz - Kreislauf - Funktionsprüfungen im Hinblick auf die Beurteilung von Silikosekranken

Archiv f. Gewerbepathologie und Gewerbephygiene
Bd. 14 340-356 (1956)

12. Bolt, W., W. Hollmann, H. Valentin, H. Venrath

Zur funktionellen Differenzierung kardial oder pulmonal bedingter Lungenveränderungen

Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose Bd. 116 642-652 (1957)

13. Bühlmann, A.

Klinische Funktionsprüfung des Herzens
Schweiz. med. Wschr. 95 1327-1332 (1965)

14. Chapman, C. B., Mitchell, J. H., B. J. Sproule

The maximal oxygen intake test in patients with predominant mitral stenosis. A preoperative and postoperative study

Circulation 22, 4-13 (1960)

15. Ciresa, M.

Was bedeutet die Alkalireserve ?

Der Landarzt 36. Jhg. Heft 26 (1960)

16. Claasen, W.

Problematik der Beurteilung von Herzkranken in der Sozialmedizin

Med. Klin. 9 346-349 (1966)

17. Cobet, H., H. Wuscheck, S. Platzek

Veränderungen des Sauerstoffverbrauchs, Sauerstoffpulses, Atemäquivalents, Atemminutenvolumens und der Pulsfrequenz bei Radsportlern unter einer Fahrradergometerstandard-belastung im Prozess der Herausbildung der "sportlichen Form"

Das Deutsche Gesundheitswesen Jhg. 19 Heft 46 2167-2171

18. Duke Thomas, H., C. Gaos, C. Wayne Vaughan

Respiratory oxygen debt and excess lactate in man

J. appl. Physiol. Vol. 20, Nr. 5 (1965)

19. Doll, E., K. König, H. Reindell

Das Verhalten der arteriellen Sauerstoffspannung und anderer arterieller blutgasanalytischer Daten in Ruhe und während körperlicher Belastung

Pflügers Arch. 271 283-295 (1960)

20. Felder, O.

Aussagemöglichkeiten der modernen Lungenfunktionsanalyse

Münch. med. Wschr. 18 901-909 (1960)

21. Felder, O.

Oxymetrische und blutgasanalytische Methoden zur Beurteilung pulmonal - kardial bedingter Leistungsgrenzen

Beitr. z. Klin. d. Tuberkulose 123, 211-222 (1961)

22. Felder, O.

Die Funktionsprüfung des kardio-respiratorischen Systems als Grundlage gezielter beruflicher Rehabilitation

Münch. med. Wschr. 25 (1965)

23. Friehoff, F.

Der Gasaustausch bei gesunden Männern unter Ruhebedingungen und während körperlicher Arbeit

Pflügers Arch. 270, 431-444 (1960)

24. Fruhmann, G.

Neuere Untersuchungen zur Diagnostik und Pathogenese der chronischen, obstruktiven Emphysembronchitis

Wien, med. Wschr. 27, 605-607 (1966)

25. Gleichmann, U., D. W. Lübbers

Die Messung des Sauerstoffdruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der Pt - Elektrode unter besonderer Berücksichtigung der Messung im Blut

Pflügers Arch. 271, 431-455 (1960)

26. Gleichmann, U., D. W. Lübbers
Die Messung des Kohlensäuredruckes in Gasen und Flüssigkeiten mit der pCO_2 - Elektrode unter besonderer Berück-

sichtigung der gleichzeitigen Messung von pO_2, pCO_2 und pH im Blut

Ebendort S. 456-472

27. Gollwitzer - Meier, K., E. Dunker

Einfluß des Sauerstoffmangels auf die Reaktionsänderungen und auf die Durchblutung des arbeitenden Warmblütermuskels

Pflügers Arch. 256, 288-295 (1953)

28. Hartung, M., H. Venrath, W. Hollmann, W. Isselhardt

Über die Regulation der Arbeitshyperventialtion

Med. Welt 28, 1576-1578 (1965)

29. Hartung, M., H. Venrath, W. Hollmann, W. Isselhardt, D. Jaenckner

Über die Atmungsregulation unter Arbeit

Westdeutscher Verlag Köln - Opladen (1966)

30. Havel, V., O. Skranc

Die Veränderungen des Atemäquivalents für O_2 und CO_2 in verschiedenen Altersklassen während dosierter Belastung und nachfolgender Beruhigung

Zschr. f. Alternsforschung 2 (1965)

31. Heilmeyer, L.

Lehrbruch der Inneren Medizin

Springer - Verlag 1961

32. Heine, F., W. Benesch, C. W. Hertz

Untersuchungen zur Methodik der Atemgrenzwertbestimmung

Zschr. f. Tuberk. 6, 273-390 (1953)

33. Heinecker, R., K. E. Zipf, H. W. Loesch

Über den Einfluß körperlichen Trainings auf Kreislauf und Atmung

Zschr. f. Kreislaufforschung 49, (1960)

34. Heinecker, R., K. E. Zipf,

Über den Einfluß von Licht und Lärmreizen auf das Verhalten von Kreislauf und Atmung während und nach körperlicher Arbeit

Zschr. f. Kreislaufforschung 49, 905-912 (1960)

35. Herberg, D., L. Geisler

Arterielle Blutgase

Med. Klin. 1, 10-14 (1966)

36. Herberg, D., L. Geisler

Die Bedeutung der arteriellen Blutgase für die Differentialdiagnose der Lungenfunktionsstörungen

Med. Klin. 11, 421-424 (1966)

37. Hertz, C. W.

Zur Begutachtung von Lungenfunktionsstörungen durch den Arbeitsversuch

Dtsch. med. Wschr. 11, 461-467 (1965)

38. Hollmann, W., H. Venrath, N. Tietz

Die Streubreite der Sauerstoffaufnahmewerte bei spiroergometrischen Untersuchungen

Zschr. f. Kreislaufforschung 45, 95-98 (1956)

39. Huckabee, W. E.
Relationsship of pyruvate and lactate during anaerobic metabolism, I, II, III

J. clin. Invest. 37, 244 (1958)
37 255 (1958)
37 264 (1958)

40. Hueck, O. E., N. Zöllner
Über den Wert der Spirometrie für die Operationsprognose Lungenkranker
Thoraxchirurgie 5, 421-429 (1955)

41. Julich, H.
Studien über die Beziehung zwischen mehreren Faktoren der Blutacidität bei Gesunden, Herzkranken und Emphysematikern
Ärztl. Forschg. 3, 110-116 (1958)

42. Julich, H.
Das Verhalten von Sauerstoffdruck sowie Kohlensäuregehalt im Arterienblut bei Gesunden und Kranken nach körperlicher Belastung
Zschr. f. d. ges. Inn. Med. u. Grenzgeb. Jhg. 18, 19/20 (1963)

43. Klein, A., J. N. Lorenzen
Hypoxämiegrenze und Beurteilung der Arbeitsfähigkeit bei 55 unfachgelernten Arbeitern
Act. Tubercul. Scand. Vol. XXXI Fasc. 3-4 (1955)

44. Klimt, F.,
Ergospirographische Untersuchungen bei 12-jährigen Kindern
Ärztl. Jugendkunde 55. Jhg. 1-2 (1964)

45. Klimt, F.
Die Herzschlagfrequenz des gesunden und rekonvaleszenten Kindes während einer submaximalen ergometrischen Belastung
Ärztl. Jugendkunde 56. Jhg. 3-4 (1965)

46. Klink, K., I. Bürkmann

Das Verhalten der arteriellen O_2- Sättigung und des arteriellen O_2- Druckes in der Erholungszeit nach körperlicher Belastung von Gesunden und Lungenkranken

Zschr. f.d. ges. Inn. Med. u. Grenzgeb.
Jhg. 19 4 (1964)

47. Knipping, H. W., H. Valentin

Das Herz des Schwerarbeiters und des Hochleistungssportlers

Münch. med. Wschr. 1, 11-15, 2, 94-97 (1961)

48. Krackhardt, H.

Lungenfunktionsprüfungen in der Differentialdiagnose kardio-pulmonaler Erkrankungen

Med. Klin. 33, 1328-1332 (1965)

49. Kubicek, F.

Über das Verhalten des Basendefizits beim spiroergometrischen Arbeitsversuch

Wien. klin. Wschr. Jhg. 78, 590-595 (1966)

50. Lawin, P., H. Burchardi

Störungen des Säure-Basen- Haushaltes als prä- und postoperative Komplikation, Erkennung und Behandlung

Münch. med. Wschr. 12, 590-599 (1965)

51. Löschke, H. H., B. Katsaros, D. Lerche

Differenzierung der Wirkungen von CO_2- Druck und Wasserfarbstoffionenkonzentration im Blut auf die Atmung beim Menschen

Pflügers Arch. 270, 461-466 (1960)

52. Mährlein, W., M. Krause, H. Rossner
Welche Bedeutung besitzt die Bestimmung des Säure-Basen Haushalts bei der Vita-maxima-Untersuchung ?

Das Deutsche Gesundheitswesen 6, 254-256 Jhg. 21

53. Mährlein, W., M. Krause, H. Rossner

Ergometrie und Säure-Basen-Haushalt unter stufenförmig gesteigerten steady state Belastungen bei Skilangläufern

Med. u. Sport 2, (1966)

54. Mallinckrodt, H. v., H. Valentin

Beziehungen zwischen der Konstitution, der Herz- und Lungenfunktion und der sportlichen Leistung bei der heranwachsenden Jugend

Sportmedizin 3, (1958)

55. Markees, S.

Entstehung und Folgeerscheinungen von Störungen im Säure-Basen-Gleichgewicht

Schweiz. med. Wschr. 40, S. 1224 (1962)

56. Marx, H.H., W. J. Zack, O. E. Müller

Untersuchungen zur spiroergometrischen Differenzierung der kardialen und pulmonalen Arbeitsleistung

Zschr. f. Kreislaufforschg. 43, 714-728 (1954)

57. Marx, H. H.

Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mittels "Schellong-Test" und Ergospirographie

Sportmedizin 6, (1957)

58. Marx, H. H.

Untersuchung des Säure-Basen-Status im Rahmen der Anpassungsvorgänge bei angeborenen Herzfehlern
Klin. Wschr. 10, 550-554 (1959)

59. Marx, H.H.
Die funktionelle Beurteilung des Lungenemphysems mit speziellen gasanalytischen Untersuchungsmethoden
Zschr.f.klin. Med. 156, 1-14 (1959)

60. Marx, H.H.
Die akute respiratorische Insuffizienz
Der Internist 1, 40-44 (1961)

61. Marx, H. H.
Lungenemphysem und Bronchitis
Georg Thieme - Verlag Stuttgart 1963

62. Marx, H. H.
Asthma, Emphysem und Bronchitis in ihrer sozialmedizinischen Bedeutung. Zur Begutachtung der obstruktiven Lungenerkrankungen
Münch. med. Wschr. 22, 1100-1107 (1965)

63. Marx, H. H., H. E. Zühlke, B. Schütze
Möglichkeiten und Grenzen der Ergometrie für klinische Fragestellungen
Zschr. f. Kreislaufforschg. 11, 1054-1067 (1965)

64. Mellerowicz, H., P. Nowacki
Vergleichende Untersuchungen von Atem- und Kreislauffunktionen bei physikalisch gleicher ergometrischer Arbeit im Stehen, Sitzen und Liegen
Zschr. f. Kreislaufforschg. Bd. 50, 1002-1014 (1961)

65. Mellerowicz, H.
Ergometrie
Urban und Schwarzenberg 1962

66. Nies, H.
Leibesübungen und Sport
münch. med. Wschr. 2, 95-97 (1958)

67. Neuhaus, G., K. Renner

Funktionsprüfung der Atmung in der Klinik

Ärztl. Wschr. 2, (1960)

68. Nöcker, J., V. Böhlau

Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von Alter und Geschlecht

Münch. med. Wschr. 46, 1517-1522 (1955)

69. Nöcker, J.

Sportmedizin

Sonderdruck aus Klin. d.Gegenwart, Handbuch d. prakt. Med. Bd. 3 Urban u. Schwarzenberg 1956

70. Overath, H.

Die Bedeutung der Lungenfunktionsdiagnostik für die Begutachtung und allgemeine Therapie der Lungentuberkulose

Der Tuberkulosearzt 7, (1958)

71. Pasargiklian, M., E. Sartorelli, G. G. Lombardo

Über die Methoden R. Margarias und H.W. Knippings beim Studium der Atemfunktion. Experimentelle Untersuchungen bei der Silikose und der Lungentuberkulose

Beitrag z. Klin. d. Tuberk. Bd. 110, 351-364 (1953)

72. Pasargiklian, M., E. C. Vigliani

Energieleistung der Lungenventilation bei langdauernder, gleichbleibender Muskelarbeit

Reprint from "Sport Medicine", proceedings of the international symposium of the Medicine and Physiologie of Sports and Athletics at Helsinki 1952

Ed. by M. J. Karvonen, Finnish Assoc. of Sports Medicine Helsinki 1953

73. Pasargiklian, M., G. Cornia, M. de Matteis

Experimentelle Untersuchung über die Bedeutung der spirographischen Ruhewerte als Zeichen der Atemfunktion bei Lungenkranken

Beitr. z. Klin. d. Tuberk. Bd. 117, 397-400 (1957)

74. Physiologisches Praktikum

Herausgegeben von den Mitarbeitern des Physiologischen Instituts der Universität Marburg

3. Auflage 1962

75. Podlesch, I., M. Stevanovic

Die Altersabhängigkeit der Diffusionskapazität der Lunge in Ruhe und während Belastung

Med. thorac. 23, 144-159 (1966)

76. Posth. H. E., H. Steinforth

Schellongsche Kreislaufregulationsprüfung und zirkulierende Blutmenge

Zentralblatt f. Chir. 29, (1953)

77. Post, H. E., N. Tietz

Präoperative Herzkreislauf- und Lungenfunktionsdiagnostik bei Menschen höheren Lebensalters mit der Spiroergographie nach H. W. Knipping

Zuschr. f. Alternsforschg. 1, (1959)

78. Rein, H. - M. Schneider

Physiologie des Menschen

Springer - Verlag 1964

79. Roberts, D. E.
Acidose und Alkalose
Klin. Wschr. 20, 997-1007 (1957)

80. Schoedel, W.

Umstellung des Kreislaufs bei Muskeltätigkeit
Sportmedizin 7, (1957)

81. Thews, G.

Ein Mikroanalyse - Verfahren zur Bestimmung der Sauerstoffdrucke in kleinen Blutproben

Pflügers Arch. 1, 89-98 (1962)

82. Ulmer, W. T., G. Berta, G. Reichel

Sauerstoff- und Kohlensäurepartialdruckmessung im arteriellen und Ohrläppchenkapillarblut mit stabilisierten Mikroelektroden

Med. thorac. 20, 235-249 (1963)

83. Ulmer, W. T., G. Reichel

Untersuchungen über die Altersabhängigkeit der alveolären und arteriellen Sauerstoff- und Kohlensäuredrucke

Klin. Wschr. 1, 1-6 (1963)

84. Valentin, H., H. Venrath

Die Differenzierung der respiratorischen Arbeitsinsuffizienz von der kardialen Arbeitsinsuffizienz unter besonderer Berücksichtigung der Links- und Rechtsinsuffizienz des Herzens

Beitr. z. Klin. d. Tuberk. Bd. 107, 35-63 (1952)

85. Valentin, H., H. Venrath

Einige Bemerkungen zu den Herzfunktionsprüfungen im Bereich der Vita maxima

Münch. med. Wschr. 21, 695-698 (1955)

86. Valentin, H., H. Venrath, H. v. Mallinckrodt, M. Gürakar

Die maximale O_2- Aufnahme in den verschiedenen Altersklassen. Eine praktisch wichtige Herz - Kreislauf - Funktionsprüfung im Bereich der Vita maxima

Zschr. f. Alternsforschg. 4, (1955)

87. Valentin, H., G. Worth, L. Gasthaus, W. Lühning, K. Werner

Simultane spirographische und blutgasanalytische Untersuchungen bei der Silikose unter Arbeitsbelastung

Arch. f. Gewerbepathologie u. Gewerbehygiene Bd. 16, 86-101 (1957)

88. Wiesinger, K.

Die Kreislauffunktionsprüfung bei der sportärztlichen Kontrolluntersuchung

Schweiz. Zschr. f. Sportmed. Vol. 2, 97-123 (1954)

89. Wiesner, H.

Vergleichende Untersuchungen über die Brauchbarkeit einiger Kreislauffunktionsprüfungen in der Chirurgie

Zschr. f. d. ges. Inn. Med. u. Grenzgebiete 1 (1953)

90. Winter, W.

Die Ergospirographie als Meßfaktor in der Rehabilitation

Med. Welt 7, 347-349 (1961)

91. Zeilhofer, R., C. G. Bär, F. Stock

Vergleichende funktionsanalytische und klin.Untersuchungen zur Pathogenese der chronisch alveolären Hypoventilation

Klin. Wschr. 2, 91-96 (1957)

92. Ziegert, H. J.

Spirographische Diagnostik

Münch. med. Wschr. 3, 79-82 (1956)

93. Zöllner, N.

Die Diagnostik häufiger Formen der Atmungsinsuffizienz mit einfachen spirometrischen Methoden

Dtsch. med. Wschr. 41, 1815-1818 (1958)
42, 1852-1855 (1958)

94. Zühlke, H. E.

Vergleichende Untersuchungen der ergospirometrischen Kriterien zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit bei Gesunden und Kranken

Dissertation Marburg 1965

Lebenslauf

Am 16. Januar 1942 wurde ich, Burkhardt Schütze, als Sohn des technischen Angestellten Max Schütze und seiner Ehefrau Gudrun geb. Meiche in Sebnitz / Sachsen geboren. Nachdem wir 1945 in die amerikanische Besatzungszone geflohen waren, wurde ich 1948 in die Volksschule in Siehrshahn / Ww. eingeschult. Nach Besuch der Volksschulen in Oberlahnstein / Rh., Baiersbronn / Schw.W. und Hundstadt / Ts., sowie des Gymnasium Philippinum in Weilburg, des Lessing - Gymnasiums in Düsseldorf, des Neusprachlichen Gymnasiums in Paderborn und des Friedrich Bährens - Gymnasiums in Schwerte / Ruhr bestand ich am 2. März 1961 am Leibniz - Gymnasium in Dortmund die Reifeprüfung.

Im Sommersemester 1961 begann ich das Medizinstudium an der Universität des Saarlandes in Saarbrücken, wo ich zu Ende des Wintersemesters 1961 / 62 die naturwissenschaftliche Vorprüfung ablegte. Danach wechselte ich nach Marburg und bestand hier zu Ende des Wintersemesters 1963 / 64 die ärztliche Vorprüfung. Am 17. August 1967 legte ich in Marburg das medizinische Staatsexamen ab.

Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren und Dozenten :

In Saarbrücken :

Altmann, Anders, Eistert, Gräser- Capuano, Keßler, de Lattin, Puff, Rolshoven, Stahl, Wulff

In Marburg :

Amon, Beckmann, Berendes, Bommer, Braun - Falco, Brück, Buchholz, Bücher, Exner, Gedigk, Hamm, Hensel, Heuser, Hildebrandt, Jacob, Knauff, Lang, Linneweh, Mann, Martini, Marx, du Mesnil de Rochemont, Niessing, Petry, Rodeck, Rodenhäuser, Rohen, Schleyer, Schmid, Schrappe, Schultze, Schwaiger, Siegert, Spiegelberg, Stender, Streicher, Würterle

Herrn Prof. Dr. med. H. H. Marx bin ich für die Überlassung des Themas und für wertvolle Anregungen bei der Durchführung der Arbeit zu Dank verpflichtet.

Frau H. Trauth und Frau A. Tripati möchte ich für die Bestimmung der Blutgase sowie die Mithilfe bei der Gestaltung der graphischen Darstellungen meinen herzlichen Dank aussprechen.